

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ESPECIALIDAD
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

Trabajo Fin de Carrera

Desarrollo de una aplicación en LabVIEW para la Inspección
Visual de Células Solares.

Autor: Almudena García Llases

Director: Marta Marrón Romera

TRIBUNAL:

Presidente: Francisco Javier Meca Meca.

Vocal 1º: Elena López Guillén.

Vocal 2º: Marta Marrón Romera

*A mis padres por ser los mejores padres que se pueda tener,
por cuidarme, quererme y ayudarme en todo, os quiero.*

A mi hermano, por estar siempre ahí cuando le necesito.

*Para mi amiga y casi hermana Ana ya sabes porque. A mis
compañeros de universidad por hacerme pasar unos años tan
divertidos, y a mis compañeros de Spasolab por hacer que
todos los días me levante con ganas de ir a trabajar.*

*Y por supuesto a ese chico maravilloso llamado Esteban, que
me ha hecho y me hace tan feliz todos los días, te quiero.*

Gracias a todos.

Índice

I. RESUMEN	1
II. ABSTRACT	3
IV. RESUMEN EXTENDIDO	5
V. MEMORIA	7
CAPÍTULO1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 <i>La célula solar</i>	7
1.1.1. Por los materiales empleados:	9
1.1.2. Por la estructura interna de los materiales:	10
1.1.3. Por la estructura del dispositivo:	10
1.1.4. Por el tipo de aplicación:	11
1.2 <i>Campo, motivo y finalidad de la aplicación</i>	12
CAPÍTULO2. SISTEMA DE INSPECCIÓN VISUAL	17
2.1 <i>Equipamiento</i>	17
2.1.1 Microscopio Zeiss Stemi 2000-C.	17
2.1.2 Cámara SONY DXC-930P.	19
2.1.3 Adaptador de cámara SONY CMA D2.	19
2.1.4 Sistema iluminación KL1500 electronic SCHOTT Zeiss.	20
2.1.5 Tarjeta de adquisición analógica de video MATRIX VISON Delta.	21
2.2 <i>Conexionado</i>	21
CAPÍTULO3. SOFTWARE LABVIEW	25
3.1 <i>Panel frontal y diagrama de bloques</i>	29
3.2 <i>Paletas</i>	30
3.3 <i>Vision Development Module y Vision Builder</i>	31
3.4 <i>Toolkit NI Office Report</i>	31
3.5 <i>Extensiones ficheros de LabVIEW</i>	31

CAPÍTULO4. APLICACIÓN PARA INSPECCIÓN VISUAL DE CÉLULAS SOLARES	33
4.1 <i>Desarrollo de la aplicación: módulos y algoritmos</i>	33
4.1.1 Módulo principal.	37
4.1.2 Módulo guardar datos medidos.	38
4.1.3 Módulo coordenadas ángulo.	39
4.1.4 Módulo coordenadas.	40
4.1.5 Módulo información imagen calibrada.	41
4.1.6 Módulo insertar comentario.	41
4.1.7 Módulo selección color.	42
4.1.8 Módulo lectura color configurado.	43
4.1.9 Módulo parámetros iniciales de ensayo.	44
4.1.10 Módulo panel calibración.	45
4.1.11 Módulo calibración patrón aumentos x6.5 x10.	46
4.1.12 Módulo calibración patrón aumentos x20.	47
4.1.13 Módulo calibración patrón aumentos x32 x50.	48
4.1.14 Módulo conversión pixeles a datos reales calibrados.	49
4.1.15 Módulo adquisición de video RGB 32 bits.	50
4.1.16 Módulo adquisición de video Mono 8 bits.	50
4.1.17 Módulo creación de documentación.	51
4.1.18 Módulo lectura datos medidos.	51
4.2 <i>Funcionamiento básico de la aplicación.</i>	52
4.2.1 Calibración del sistema.	52
4.2.2 Realización del ensayo.	54
CAPÍTULO5. RESULTADOS Y TRABAJOS FUTUROS	59
5.1 <i>Resultados obtenidos.</i>	59
5.1.1 Verificación mediadas patrón.	59
5.1.2 Ensayo intercomparación.	63
5.2 <i>Trabajos futuros.</i>	68
VI. PLIEGO DE CONDICIONES	71
VII. PRESUPUESTO.	73
1. COSTE DE LOS MATERIALES.	73
1.1. <i>Recursos hardware.</i>	73
1.2. <i>Recursos software.</i>	74
1.3. <i>Material de oficina.</i>	74
2. COSTE DE LA MANO DE OBRA.	75
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL	75

4. IMPORTE DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.	76
5. HONORARIOS FACULTATIVOS.	76
6. DERECHOS DE VISADO.	77
7. PRESUPUESTO TOTAL.	78
VIII. MANUAL DE USUARIO.	79
IX. BIBLIOGRAFÍA.	102

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema célula solar.	8
Figura 2: Esquema sección célula solar.	9
Figura 3: Microscopio Zeiss Stemi 2000-C.	18
Figura 4: Cámara Sony DXC 930P.	18
Figura 5: Adaptador de cámara CMA D2.	20
Figura 6: Fuente de luz fría KI1500.	20
Figura 7: Esquema de la conexión de los distinto equipos.	22
Figura 8: Conexión puerto cámara.	22
Figura 9: Conexiones adaptador cámara.	22
Figura 10: Conexión fuente luz-microscopio.	22
Figura 11: Esquema plataforma de visión.	27
Figura 12: Diagrama de flujo de la aplicación principal.	34
Figura 13: Retícula para la calibración.	35
Figura 14: Diagrama de flujo del módulo de calibración.	37
Figura 15: Panel principal.	38
Figura 16: Módulo guardar datos medidos.	38
Figura 17: Módulo de obtención coordenadas para medida ángulo.	39
Figura 18: Módulo coordenadas.	40
Figura 19: Módulo para insertar en la imagen calibrada la información de calibración.	41
Figura 20: Módulo insertar comentario.	42
Figura 21: Panel frontal para insertar comentario.	42
Figura 22: Módulo selección color.	42
Figura 23: Panel frontal selección color.	43
Figura 24: Módulo lectura color seleccionado.	43
Figura 25: Módulo parámetros iniciales de ensayo.	44

<i>Figura 26: Panel frontal parámetros iniciales de ensayo.</i>	45
<i>Figura 27: Módulo calibración.</i>	45
<i>Figura 28: Panel frontal módulo calibración.</i>	46
<i>Figura 29: Módulo obtención datos calibración imagen x6.5 x10.</i>	46
<i>Figura 30: Módulo obtención datos calibración imagen x20.</i>	47
<i>Figura 31: Módulo obtención datos calibración imagen x32 x50.</i>	49
<i>Figura 32: Módulo conversión píxeles a valores métricos.</i>	49
<i>Figura 33: Módulo de adquisición de video RGB 32 bits.</i>	50
<i>Figura 34: Módulo adquisición video Mono 8 bits.</i>	50
<i>Figura 33: Módulo de generación de documentación.</i>	51
<i>Figura 36: Módulo lectura datos medidos.</i>	51
<i>Figura 37: Pantalla principal de la aplicación.</i>	81
<i>Figura 38: Selección opción calibración.</i>	81
<i>Figura 39: Pantalla de calibración.</i>	82
<i>Figura 40: Imagen calibración x10 (x6.5).</i>	83
<i>Figura 41: Imagen calibración x20.</i>	83
<i>Figura 42: Opción Calibrar.</i>	84
<i>Figura 43: Calibración errónea.</i>	85
<i>Figura 44: Calibración correcta.</i>	85
<i>Figura 45: Imagen calibración x32 (x50).</i>	86
<i>Figura 46: Ventana calibración x32 (x50).</i>	87
<i>Figura 47: Recuadrar cruceta.</i>	87
<i>Figura 48: Calibración errónea x50 (x32).</i>	88
<i>Figura 49: Calibración correcta x32 (x50).</i>	88
<i>Figura 50: Guardar archivo.</i>	89
<i>Figura 51: Pantalla iniciar ensayo.</i>	90
<i>Figura 52: Pantalla iniciar ensayo.</i>	91
<i>Figura 53: Utilidades símbolos.</i>	92
<i>Figura 54: Utilidad distancia.</i>	92
<i>Figura 55: Botón distancia</i>	93
<i>Figura 56: Introducir comentario.</i>	93
<i>Figura 57: Acciones realizadas.</i>	94
<i>Figura 58: Utilidad ángulos.</i>	94
<i>Figura 59: Botón ángulo.</i>	94
<i>Figura 60: Utilidad polígonos.</i>	95
<i>Figura 61: Botón área.</i>	95

<i>Figura 62: Utilidad áreas.</i>	96
<i>Figura 63: Botón área.</i>	96
<i>Figura 64: Utilidad círculo.</i>	97
<i>Figura 65: Botón círculo.</i>	97
<i>Figura 66: Aviso círculo.</i>	97
<i>Figura 67: Botón selección.</i>	98
<i>Figura 68: Botón comentario.</i>	99
<i>Figura 69: Botón borrar.</i>	99
<i>Figura 70: Botón Guardar.</i>	100
<i>Figura 71: Opciones.</i>	100
<i>Figura 72: Selección color.</i>	100

1. Resumen

Una *Célula Solar* es un dispositivo semiconductor que tiene la capacidad de convertir los fotones que recibe del Sol en energía eléctrica. Se trata de un dispositivo muy sensible, puesto que cualquier tipo de agresión puede provocar sobre la misma *defectos* tanto físicos como eléctricos.

El presente proyecto consiste en el desarrollo de una aplicación en *LabVIEW* para realizar la *Inspección Visual* de *Células Solares*, de tal forma que se pueda comprobar el estado de las mismas en cualquier momento de su vida siguiendo la norma *ECSS-E-ST-20-08C Rev.1 Space engineering Photovoltaic assemblies and components* (Julio 2012). [ECSS].

PALABRAS CLAVE

Célula Solar, Inspección visual, Calibración, Defecto, LabVIEW.

11. Abstract

A *Solar Cell* is a semiconductor device that has the ability to convert photons received from the Sun into electrical energy. This is a very sensitive device, since any kind of aggression on it could cause physical and electrical defects.

This project involves the development of an application in *LabVIEW* for *Visual Inspection of Solar Cells*, to check the status of them at any time of its life following the standard ECSS-E-ST-20- Rev.1 08C Space Photovoltaic engineering assemblies and components (July 2012). [ECSS].

KEYWORDS

Solar Cell, Visual Inspection, Calibration, Defect, LabVIEW.

IV. Resumen extendido

En 1989 la Agencia Espacial Europea (ESA) seleccionó al INTA como Laboratorio de Certificación de *células solares* fotovoltaicas para uso espacial. De esta forma nació en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) un laboratorio de ensayo y certificación de *células solares* llamado SPASOLAB (Space Solar Cell Test Laboratory).

La homologación de células supone la realización de diversos ensayos, eléctricos, mecánicos, ópticos, ambientales y termo ópticos, lo que puede provocar sobre las células la aparición de *defectos*.

Por este motivo es necesario tener un control preciso de las muestras que llegan al laboratorio en todo momento, desde su recepción hasta que abandonan el mismo. Para ello se realiza un ensayo de *inspección visual*, que hasta el momento ha sido realizado de manera manual.

El presente proyecto trata de automatizar este proceso, ya que la manera actual de realizarlo es lenta, engorrosa y poco precisa. El proyecto se centra principalmente en la adquisición de las imágenes que se ven a través de un microscopio, con una cámara

adaptada al mismo. Estas imágenes son adquiridas y tratadas por una aplicación desarrollada en *LabVIEW*, de tal forma que sea posible el dimensionamiento de los *defectos* encontrados de forma precisa, y el almacenamiento de los datos obtenidos en un fichero. Con las imágenes y los datos obtenidos durante la realización del ensayo se podrá generar un documento en el formato deseado.

Para el desarrollo de la aplicación se ha contado con la herramienta de desarrollo *LabVIEW*. Esta herramienta es muy útil para realizar aplicaciones de *inspección visual* ya que dispone de módulos prediseñados que permiten la adquisición y procesamiento de imágenes, utilizando el *Módulo NI Vision Development*. Se trata de una extensa biblioteca con cientos de algoritmos de procesamiento de imágenes y funciones de visión artificial para mejorar imágenes, verificar presencia, ubicar características, identificar objetos y dimensionar.

El sistema usado consta de una videocámara analógica en color de **3 CCD DXC-930P** (Sony), acoplada a un microscopio **Microscopio Zeiss Stemi 2000-C** y a su vez conectada a un adaptador de cámara **SONY CMA D2**. El adaptador se conecta a un PC el cual debe tener montada una tarjeta de adquisición de video, en este caso se ha utilizado la tarjeta de adquisición **MATRIX VISON Delta** disponible en el laboratorio. Al microscopio es necesario conectarle una fuente de luz fría **KL-1500**. Todos estos elementos se han seleccionado por ser los modelos de los que se disponía en el laboratorio de ensayo SPASOLAB.

V. Memoria

Capítulo 1. Introducción

La energía solar fotovoltaica convierte la energía que procede del Sol directamente en energía eléctrica. Para convertir la energía del Sol en energía eléctrica y poder utilizarla de la forma más eficiente posible se diseñan los sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas constan de diferentes elementos, como receptores, inversores, o baterías. Uno de los elementos imprescindible en este tipo de sistemas, y sobre el que se desarrolla este proyecto, es la *célula solar*.

1.1 La célula solar

La *célula solar* es el elemento que convierte los fotones que proceden del Sol en una corriente eléctrica que circula por un elemento que se denomina carga. Las *células solares* son dispositivos de estado sólido fabricados con materiales que se denominan semiconductores. El estudio de las propiedades básicas de estos materiales hacen posible que con ellos se puedan fabricar *células solares*.

El tamaño y forma de las células depende de los métodos de fabricación y de la aplicación para la que se haya diseñado. En las figuras 1 y 2 se muestran los distintos elementos que componen una *célula solar*.

Este esquema podría valer para cualquier célula aunque la forma no sea la misma que la representada, o no disponga de alguno de los elementos indicados, como podría ser una célula sin *coverglass*, la idea principal es válida para todas.

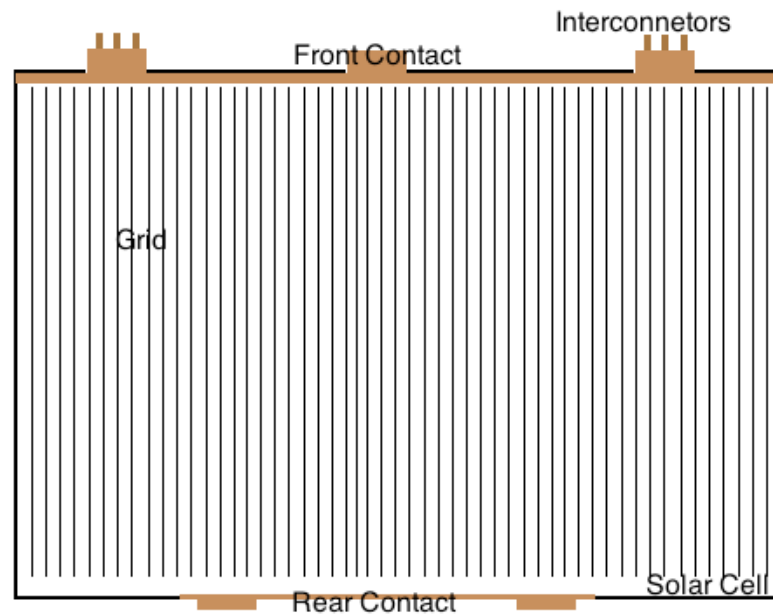


Figura 1: Esquema Célula Solar.

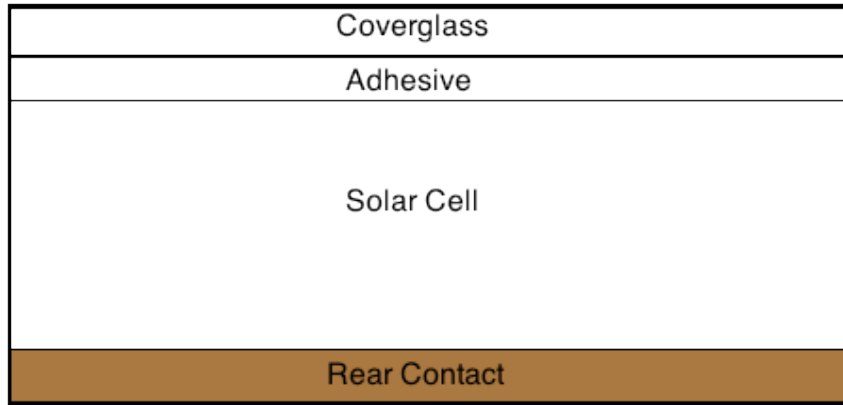


Figura 2: Esquema sección Célula Solar.

La variedad de materiales empleados, las distintas tecnologías de fabricación y aplicaciones de la energía fotovoltaica es de tal amplitud en la actualidad, que se hace necesario clasificar las células de alguna forma. A continuación se hace una clasificación muy resumida tratando de reflejar los tipos de células más comunes.

1.1.1. Por los materiales empleados:

- **De material simple:** El material más utilizado es el silicio, aunque otros materiales han demostrado su potencial uso.
- **De compuestos binarios:** Los compuestos binarios integrados han sido muchos, pero los más comunes han sido CdTE, GaAs, InP, CdS. En general compuestos con materiales de los grupos III y V de la tabla periódica de elementos.
- **De compuestos ternarios:** Entre estos cabe destacar algunos compuestos como el AlGaAs, y los compuestos de estructura calcopirita basados en el Cu.

Esta clasificación es interminable, puesto que el número de elementos presentes en una aleación de materiales semiconductores y metálicos puede ser, tan grande como se quiera. [CIEMAT].

1.1.2. Por la estructura interna de los materiales:

- **Monocristalinos:** la célula es crecida o procesada como un único cristal. Una vez cortada en obleas o láminas se realizan las difusiones de impurezas.
- **Multicristalinos:** estas células sacrifican parcialmente el rendimiento final de la célula para disminuir el coste de fabricación.
- **Policristalinos:** aunque con una estructura basada también en pequeños cristales o granos, el tamaño del grano en estos materiales es muy inferior al de los materiales multicristalinos.
- **Dispositivos Híbridos:** muchas células modernas basadas en heterouniones, (termino que se explica en la siguiente manera de clasificación), se fabrican a partir de capas o sustratos monocristalinos sobre las que se deposita un segundo material con estructura policristalina por medio de técnicas de lámina delgada.
- **Amorfos:** El único material empleado en la actualidad en esta forma es el Silicio, normalmente con incorporación de hidrógeno en el proceso de fabricación. El sacrificio de rendimiento es más acusado.

1.1.3. Por la estructura del dispositivo:

- **Homouniones:** la unión p-n se crea sobre un único material por difusión de dopantes desde lados opuestos de la célula.

- **Heterouniones:** los dos materiales situados a ambos lados de la unión son diferentes, y a veces, producidos por distintas tecnologías de fabricación.
- **Dispositivos de unión simple:** se crea una única unión p-n en la estructura del dispositivo, aunque esta puede estar formada por compuestos distintos a cada lado de la unión.
- **Dispositivos multi-unión:** El dispositivo se produce a base de varias uniones superpuestas, que pueden formar parte de una única célula, o corresponder a distintas células crecidas en la misma estructura.
- **Dispositivos monocélula:** son los más comunes y los que se encuentran actualmente en el mercado. Para aprovechar el rango más amplio posible del espectro solar se recurre a seleccionar materiales de la mayor anchura de respuesta espectral y de valor del gap adecuado, en un dispositivo único.
- **Dispositivos tándem o en cascada:** es la combinación de dos o más células en una misma estructura con el fin de aprovechar el mayor rango posible del espectro solar. Cada uno de los dispositivos esta “especializado” en un rango determinado del espectro y es transparente a los demás. [CIEMAT].

1.1.4. Por el tipo de aplicación:

- **Células para aplicaciones terrestres sin concentración:** prácticamente la totalidad de los módulos disponibles comercialmente son para este tipo de aplicaciones. Se les llama también de panel plano.
- **Células para integración en edificios:** hasta hace pocos años estas eran las mismas que las empleadas en panel plano, pero con el incremento de interés en estas aplicaciones, han ido apareciendo diseños especiales de células, que presentan como característica más destacada su semitransparencia.

- **Células para aplicaciones terrestres bajo concentración:** en busca del mayor rendimiento de conversión posible, se han incluido en algunos módulos y células sistemas ópticos, (concentradores), capaces de incrementar considerablemente la radiación solar incidente sobre la célula.
- **Células para aplicaciones espaciales:** han seguido una evolución permanente desde el comienzo de las investigaciones, de forma paralela a las aplicaciones terrestres. Sin embargo las especiales condiciones extra-terrestres, los requerimientos técnicos (relación eficiencia/peso, necesidades de módulos desplegables,...) y el no escatimar en gastos con tal de obtener la mejor fuente de energía, hacen que sus diseños difieran sensiblemente respecto de los de aplicaciones terrestres. [CIEMAT].

1.2 Campo, motivo y finalidad de la aplicación

En 1989 la Agencia Espacial Europea (ESA) seleccionó el INTA como centro de ubicación del Laboratorio de Certificación de *células solares* fotovoltaicas para uso Espacial. Nació así SPASOLAB (*Space Solar Cell Test Laboratory*), centro oficial de la ESA (único habilitado en Europa para tal cometido) para el ensayo y certificación de las células espaciales utilizadas en los paneles fotovoltaicos de los satélites construidos en Europa. Para llevar a cabo esta labor, SPASOLAB fue dotado de unas magníficas instalaciones y se le proporcionaron recursos técnicos y humanos de una altísima cualificación.

Para que un panel solar a bordo de cualquier satélite cumpla los objetivos para los que ha sido diseñado tiene que pasar un riguroso programa de ensayos que certifique y verifique su viabilidad en las condiciones de temperatura, humedad, presión, resistencia, etc., que el satélite en cuestión encontrará en el espacio exterior. En este

sentido, SPASOLAB ha recibido de la ESA el correspondiente *Statement of Compliance*, o certificado de calidad, por cumplir con los requisitos establecidos. [RINTA].

De esta forma, el laboratorio del INTA garantiza la certificación completa de cualquier *célula solar* de uso espacial, para lo cual realiza toda una serie de rigurosos ensayos: ensayos eléctricos, curva corriente- tensión, caracterización de fuentes de luz, caracterización espectral, ensayos ambientales y termo-ópticos, ensayos mecánicos, dimensionamiento y peso de células, *calibración* de células como patrones, y el ensayo que ocupa este proyecto, *Inspección Visual de Células Solares*.

La *célula solar* es un dispositivo muy sensible a cualquier agresión externa. Durante el tiempo que permanece en el laboratorio, se realizan sobre ella distintos ensayos los cuales pueden provocar daños, físicos o eléctricos, a la célula ensayada.

Las células son sometidas a un ensayo de *inspección visual* con objeto de revisar el estado de las mismas. Conociendo y cuantificando los *defectos* encontrados así como observando su evolución a través de las diferentes *inspecciones visuales* realizadas se puede evaluar si la célula es apta para seguir utilizándose, o comprobar que ensayo ha sido el que ha producido los daños.

Este ensayo se basa en encontrar con ayuda de un microscopio *defectos* en la célula. Durante el tiempo que la célula permanece en el laboratorio este ensayo es repetido al menos dos veces. Una primera vez en el momento de la recepción de las muestras, para comprobar el estado inicial, y otra al menos antes de abandonar el laboratorio, para comprobar si se ha dañado después de los ensayos.

Si sobre la célula se realizan ensayos potencialmente dañinos, como ensayos ambientales en los que se somete a la célula a condiciones de humedad y temperatura

extremas, si ocurre algún problema con la célula mientras se manipula, o si simplemente el cliente exige un control más exhaustivo, será necesario realizar el ensayo de *inspección visual* un mayor número de veces.

Hasta el momento este ensayo se realiza de manera manual con la ayuda de un microscopio y un técnico. El técnico coloca la célula en el soporte del microscopio y con ayuda de los engranajes de los que dispone en la base del microscopio, mueve la célula lentamente para poder realizar un barrido completo mirando a través de los oculares del mismo. Si durante este proceso el técnico encuentra lo que puede ser un *defecto*, debe indicar en el formato de ensayo, donde se ha encontrado el mismo, en que nivel de la célula está, y de que *defecto* se trata. [SPA-PRO].

Aquellos *defectos* que pudieren alterar la función que desempeña la célula vienen definidos en la norma “ECSS-E-ST-20-08C Rev.1 *Space engineering Photovoltaic assemblies and components*” [ECSS]. Esta norma también indica, para ciertos *defectos*, el tamaño máximo que se permite en ellos.

Hasta el momento la tarea de dimensionar un *defecto*, era muy tediosa, y se empleaba mucho tiempo en ella. Además el dimensionamiento de los *defectos* nunca llegaba a ser todo lo exacto que se desea, ya que se trata de *defectos* muy pequeños y el sistema de medida no permitía una resolución lo suficientemente precisa. En este proyecto se trata de que el proceso de dimensionamiento se convierta en algo sencillo y rutinario, que no implique emplear más tiempo del estrictamente necesario, y sobre todo que la tarea de dimensionar *defectos* sea lo más exacta posible.

Para ello se va a desarrollar una aplicación con la herramienta de desarrollo *LabVIEW* de *National Instrument*. *LabVIEW* es un sistema de programación gráfica para aplicaciones en las que son necesarias la adquisición, análisis, control y

presentación de datos, y en este caso se adecua perfectamente a la aplicación que se desea desarrollar.

El presente proyecto se va a desarrollar siguiendo el esquema que se indica a continuación:

En el capítulo 2 se explica el equipamiento utilizado, y la conexión entre los distintos componentes del sistema.

En el capítulo 3 se realiza una explicación general sobre la herramienta de desarrollo utilizada *LabVIEW* de *National Instrument*. En este capítulo se trata de dar a conocer al lector las opciones que esta herramienta ofrece a la hora de realizar aplicaciones de este tipo.

En el cuarto capítulo se detalla todo lo relacionado con la aplicación en sí. En este punto se incluyen diagramas de flujo, explicación detallada de la forma en la que se ha desarrollado la aplicación, y el funcionamiento de la misma.

El último bloque se describen los resultados obtenidos y se proponen posibles nuevas mejoras a realizar en futuros trabajos .

Capítulo 2. Sistema de Inspección Visual

Para la realización del proyecto se requieren los medios que a continuación se detallan, todos ellos ya disponibles en el laboratorio Spasolab del INTA. Además de los elementos indicados a continuación será necesario un ordenador con el que se trabajará para desarrollar el software de *inspección visual*, cuyas características se detallan en el pliego de condiciones.

2.1 Equipamiento

El equipamiento utilizado, marcas y modelos, se debe a la disponibilidad de los mismos en el laboratorio para el cual se está desarrollando la aplicación. Se podrían seleccionar otras marcas o modelos de características similares a los utilizados.

Los elementos más importantes que componen el sistema son los siguientes:

2.1.1 Microscopio Zeiss Stemí 2000-C.

Esta lupa binocular compacta y de alto rendimiento, es ideal para el uso en investigación y desarrollo científico, y también en educación y formación.

Proporciona imágenes brillantes y bien definidas, sin distorsiones y con gran resolución, incluso con escaso aumento.

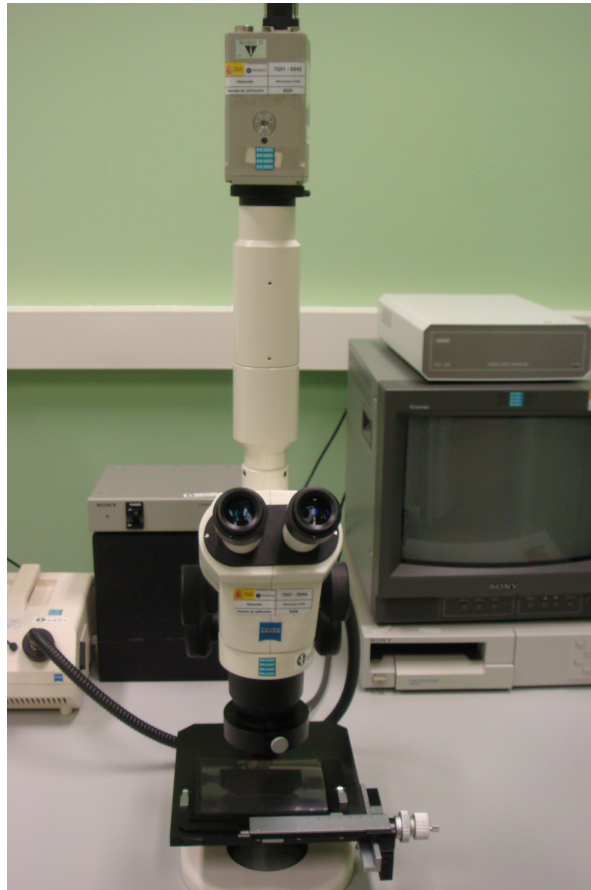


Figura 3: Microscopio Zeiss Stemi 2000-C.

Dimensiones:	65 x 336 x 371 mm.
Peso:	4,8 Kg.
Rango de Zoom:	0.65x...5.0x

Dispone de un mango de enfoque que permite el ajuste óptico del sistema para la muestra, con un máximo de 46 mm. [ZEOPMA].

2.1.2 Cámara SONY DXC-930P.

Se trata de una cámara analógica y compacta para diversas aplicaciones industriales. Tiene una alta resolución horizontal de líneas 720TV, alta sensibilidad de F5.0 a 2000 lx, y excelente reproducción de color. Tiene varios controles integrados de función de cámara. Se alimenta a 12 V de corriente continua y su consumo es de 78W. Dispone de tres salidas de video (*Composite*, Y/C y RGB, en este caso se ha utilizado la señal *Composite* para llevarla al adaptador de la cámara) para suministrar una señal de imagen de alta calidad a una videograbadora o al monitor conectado. [3CCD].



Figura 4: Cámara Sony DXC 930P.

2.1.3 Adaptador de cámara SONY CMA D2.

Sony CMA-D2 es una fuente de alimentación 1.3W diseñada para su uso con cámaras CCD de Sony. Transmite energía DC y señales de vídeo / sincronización entre la cámara y el adaptador de CMA-D2 con CCMC cable de 12-pin. [MA_CMAD2].



Figura 5: Adaptador de cámara CMA D2.

2.1.4 Sistema iluminación KL1500 electronic SCHOTT Zeiss.

La fuente de luz fría KL 1500 es una fuente halógena de 150 vatios de luz fría. Con su excelente diseño combinado con una producción optimizada, luz homogénea y variables las opciones de control de luz, esta fuente ha sido diseñada para aplicaciones en microscopía estéreo y macroscópicas en el laboratorio, aplicaciones industriales y médicas.



Figura 6: Fuente de luz fría KL1500.

2.1.5 Tarjeta de adquisición analógica de vídeo MATRIX VISION Delta.

La tarjeta de adquisición Video Matrix Vision Delta es un producto muy efectivo, ya que es compacto y económico, para encontrar soluciones de visualización y procesamiento de imágenes en la actualidad. La calidad y funcionalidad de esta tarjeta hace que sea una solución ideal para la aplicación que se desea desarrollar. Sus características son las siguientes:

- 2 entradas de video.
- Conectores de entrada: 1 x Cinch + 1 x YC.
- Soporta todos los estándares de video a 50/60 Hz.
- Graba señales de color y escala de grises.
- Brillo programable, contraste, saturación y tono.
- Ajuste automático o de ganancia fija.
- Resolución 768 x 576 @ 50 Hz y los píxeles cuadrados.
- Escala variable con interpolación horizontal y vertical.

[CAT_VISIONDELTA].

2.2 Conexiónado

En la figura 7, muestra un esquema con las conexiones que se han de realizar. Para llevar a cabo la conexión entre los distintos equipos se debe seguir los siguientes pasos:

Primero se debe colocar la cámara en la parte superior del microscopio, de manera vertical, anclándola de tal forma que el objetivo de la cámara quede

perpendicular al plato de plástico del microscopio. Se conecta la misma a través de un cable de doce pines tipo DIN, desde el conector nombrado en la cámara como DCIN/REMOTE, con el puerto trasero del adaptador de la cámara, llamado *CAMERA* (existen dos conectores llamados así pero solo uno de ellos se corresponde con el cable tipo DIN de 12 pines). Del adaptador de la cámara se toma la señal *Video Out*, señal de video compuesto. Esta señal se lleva a la tarjeta de adquisición ya instalada en el ordenador, donde se tratará como una señal digital RGB de 32 bits, para tomar la imagen en el proceso de ensayo, y como señal de 8 bits, blanco y negro, para el proceso de *calibración*. El adaptador de la cámara debe estar conectado a la alimentación a través de un cable de red.

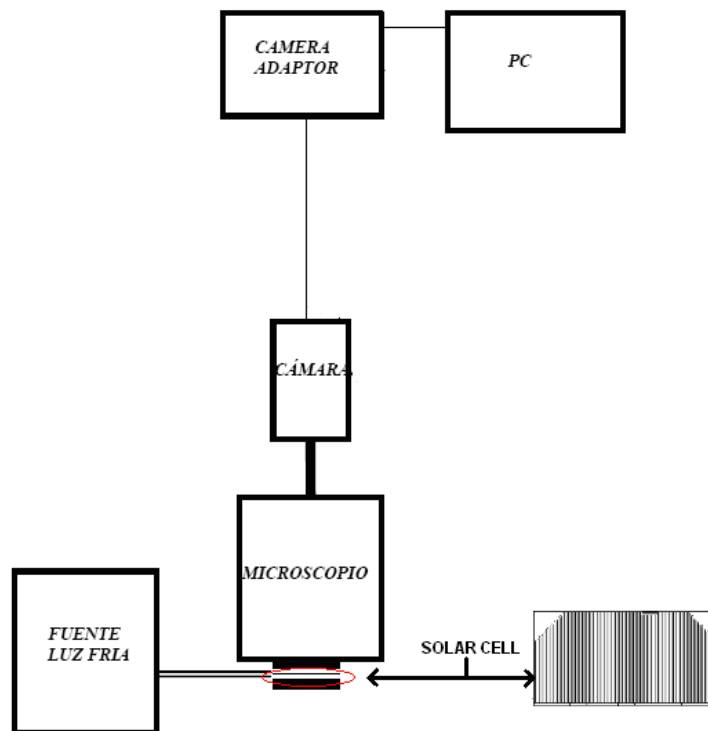


Figura 7: Esquema de la conexión de los distintos equipos.

Las siguientes imágenes muestran los puertos de la cámara y del adaptador de la misma.



Figura 8: Conexión puerto cámara.



Figura 9: Conexiones adaptador cámara.

La fuente de luz fría KL1500, conectada a la red de alimentación, se conectará al conector de lámpara del que dispone el microscopio en su base.

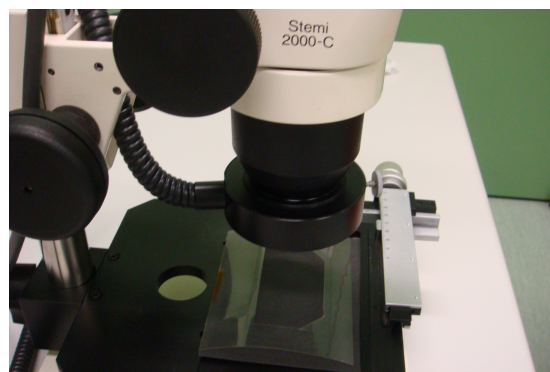


Figura 10: Conexión fuente luz-microscopio.

Capítulo 3. Software LabVIEW

LabVIEW es la abreviatura a *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*. Se trata de una herramienta de desarrollo de *National Instrument*. Es un entorno de programación gráfica, o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques. Bajo este punto de vista es muy diferente a los lenguajes de programación tradicionales como pueden ser C, C++, o Java, en los cuales el código son líneas de texto. [WEBNI].

La utilización de este software, esta motivada porque con un único sistema de desarrollo, se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos. Para el empleo de *LabVIEW* no se requiere gran experiencia en programación, ya que emplea iconos, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Este *software* es perfecto para la aplicación a desarrollar, ya que es necesario adquirir imágenes, analizarlas en el proceso de *calibración*, y representar los resultados de las medidas realizadas.

Un programa creado en *LabVIEW* consta de tres partes a crear:

1. El **panel frontal**, donde estarán ubicados todos los indicadores y controles que el usuario podrá ver cuando el programa este en funcionamiento. Por ejemplo: botones, perillas, gráficas, etc.

2. El **diagrama de bloques**, donde se muestra el programa en código gráfico. Se usan en este diagrama estructuras de programación, y flujo de datos entre las diferentes entradas y salidas, a través de líneas. En este las subrutinas son mostradas como iconos de “cajas negras”, con unas entradas y unas salidas determinadas, donde en el interior se cumple una función específica. Todos los indicadores y controles ubicados en el panel frontal están respaldados por un terminal de conexión en el diagrama de bloques. [LABEVERY]
3. El **ícono de conexión**, se usa para utilizar el programa creado como subrutina en otro programa, donde el ícono será la “caja negra”, y las entradas son las conexiones a los controles del programa subrutina, y las salidas son las conexiones a los indicadores del mismo subprograma. La idea es crear un sistema de programación modular, donde cada rutina creada llame otras rutinas, y estas a su vez a otras de menor nivel, en una cadena jerárquica. Así cuando se use un módulo, no se requiere saber como funciona interiormente, simplemente basta conocer sus entradas y salidas para ser así usado. [LABEVERY]

Si se desea que el programa realizado sirva como subrutina para otro VI de mayor jerarquía, primero se debe realizar un icono que represente el VI, y luego hacer las conexiones entre los terminales del icono y los instrumentos del panel frontal. Cabe anotar que se conectan solo los deseados. Los que no se conecten tomarán el valor que poseen como *default*, o valor propio inicial correspondiente, para las funciones y operaciones que se deban realizar.

LabVIEW cuenta además de las funciones normales de programación, con otras en forma de VI para ser usadas como subrutinas en aplicaciones de grado más complejo, como son las herramientas usadas para comunicaciones. Estas funciones cuentan con

los programas *drivers*, para manejar dispositivos que se conectan al ordenador. Como se tienen estos *drivers*, no se hace necesario conocer a fondo el método de programación de estos equipos, solo basta usar las rutinas que los manejan. En la aplicación desarrollada se utilizan los *drivers* para realizar la comunicación, y la adquisición de datos de la tarjeta, al PC utilizado. Un programa *driver* consta de los siguientes elementos:

- Iniciador o Configurador: Inicializar el dispositivo, o configurar como será la comunicación al instrumento o tarjeta. En nuestro caso tarjeta.
- Iniciador de medición y presentador de estado: Ordena a la tarjeta o dispositivo que tome datos.
- Trasladar datos: Llevar o traer los datos del dispositivo al ordenador, para ser usados como sea necesario.
- Utilidades: Para leer errores, resetear el periférico, o pedir auto chequeo y auto calibración.
- Cerrar: Para cerrar la comunicación con el dispositivo, y se mantenga esperando.

Una de las tarjetas más típicamente usadas en aplicaciones de este tipo, y en otras muchas, son las de adquisición de datos, o tarjetas DAQ. Las tarjetas DAQ son tarjetas insertables que permiten la entrada y salida de datos del ordenador a otros periféricos, donde se conectan sensores, o actuadores, para interactuar con el mundo real. Los datos que entran y salen pueden ser señales digitales o analógicas. En nuestro caso la señal que le llega del adaptador de la cámara es una señal analógica. Las tarjetas se comportan como si fueran un puerto más en el ordenador, y poseen todo un protocolo

y sistema de manejo, por lo que hay que entender el funcionamiento de cada tarjeta. Las tarjetas como cualquier otro periférico, requiere del *software*, *driver*, que maneje lo bajo de programación, y deje en la superficie, la posibilidad de programar aplicaciones, de una forma sencilla.

LabVIEW ofrece acceso a los *drivers* desde las rutinas de configuración. Los *drivers* disponibles son para las tarjetas de la *NI National Instruments*, pero en el mercado se consiguen *drivers* para otras marcas.

LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de la funciones básicas de todo lenguaje de programación, incluye librerías específicas para la adquisición y tratamiento de imágenes. La programación de aplicaciones complejas de visión puede ser fácilmente desarrollada con *Visión Builder*, además *National Instruments* permite utilizar aplicaciones en *LabVIEW*, de forma fácil y sencilla con el *NI Visión Assistant* incluido con el *NI Visión Development Module* (ver figura 11).[LABEVERY].

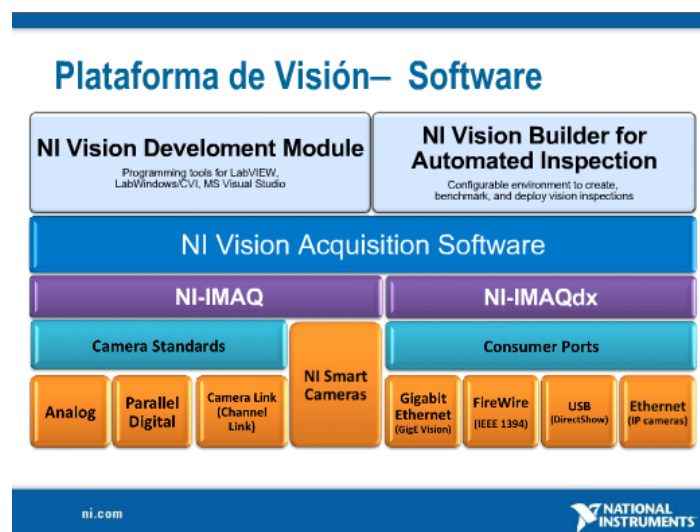


Figura 11: Esquema Plataforma de Visión.

3.1 Panel frontal y diagrama de bloques

Como ya se ha comentado antes la aplicación que se desea realizar con *LabVIEW* necesita de un panel frontal y un diagrama de bloques. Para construir el panel frontal hay que utilizar los controles e indicadores de la paleta de controles. Esta paleta se explica más adelante. Los indicadores pueden ser gráficos, leds y otros visualizadores. Los controles son los dispositivos de entrada del instrumento que suministran datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores simulan dispositivos de salida del instrumento y visualizan los datos que adquiere o genera el diagrama de bloques.

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora *LabVIEW*.

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos. *LabVIEW* posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

Las estructuras, similares a las declaraciones causales y a los bucles en lenguajes convencionales, ejecutan el código que contienen de forma condicional o repetitiva (bucle for, while, case,...). Los cables son las trayectorias que siguen los datos desde su origen hasta su destino, ya sea una función, una estructura, un terminal, etc. Cada cable

tiene un color o un estilo diferente, lo que diferencia unos tipos de datos de otros. [WEBNI].

3.2 Paletas

[LABEVERY]. Las paletas de *LabVIEW* proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el panel frontal como el diagrama de bloques. Existen las siguientes paletas:

Paleta de controles (Controls palette)

La paleta de controles solo se emplea solo en el panel frontal. Esta paleta contiene los controles e indicadores que se necesitan para crear el panel frontal. Están localizados en subpaletas en función de los tipos de control o de indicador.

Paleta de funciones (Functions palette)

Se emplea en el diseño del diagrama de bloques. La paleta de funciones contiene todos los objetos que se emplean en la implementación del programa del VI, ya sean funciones aritméticas, de entrada/salida de señales, entrada/salida de datos a fichero, adquisición de señales, temporización de la ejecución del programa, etc.

Paleta de herramientas (Tools palette)

Se emplea tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques.

3.3 Visión Development Module y Visión Builder

El software de visión de NI está disponible en dos paquetes – el *NI Vision Development Module* (módulo de desarrollo de visión) y el *Vision Builder for Automated Inspection* (AI) de NI. El módulo de desarrollo de visión contiene un extenso número de funciones de visión para usar con *LabVIEW*, LabWindows/CVI, C/C++, o Visual Basic para programar aplicaciones poderosas de *inspección visual*, alineación, identificación y medición. [PFCADQ].

3.4 Toolkit NI Office Report

El *NI LabVIEW Report Generation Toolkit* para Microsoft Office es una biblioteca flexible, fácil de usar, para programar VIs para la creación y edición de informes en formato Microsoft Word y Excel desde *LabVIEW*. [WEBNI].

3.5 Extensiones ficheros de LabVIEW

Los programas de *LabVIEW* utilizan la extensión .VI. Sin embargo, múltiples Vis se pueden guardar formando una biblioteca con la extensión .llb. Las bibliotecas son útiles para agrupar Vis relacionadas, ahorrando espacio en el disco, y facilitando el movimiento de Vis entre unos directorios y otros. [INTLAB].

Capítulo 4. Aplicación para Inspección Visual de Células Solares

En este capítulo se trata de dar a conocer la forma en la se ha programado la aplicación, y el funcionamiento básico de la misma.

El software denominado con el nombre “ViSoftware” se ha desarrollado con el objetivo de facilitar el ensayo de *inspección visual* sobre *células solares*. El *software* permite *calibrar* el sistema, con ayuda de una plantilla o retícula, e identificar y dimensionar *defectos* en las *células solares* ensayadas. También permite la generación de un documento con los resultados del ensayo, con toda la información relativa al mismo, y almacenar todas las fotos adquiridas durante el ensayo en la carpeta que se seleccione al inicio del mismo.

4.1 Desarrollo de la aplicación: módulos y algoritmos

Para el desarrollo de la aplicación se han tenido en cuenta los siguientes requisitos técnicos del sistema de medida:

- *Calibración* automática para los enfoques x6.5, x10, x20, x32, x50.
- Dimensionado de distancias en cualquier dirección.

- Dimensionado de áreas.
- Dimensionado de ángulos.
- Ajuste y dimensionado de áreas circulares.
- Generación automática de documento con resultados del ensayo.

El diagrama de flujo de la aplicación principal se corresponde con la figura 12:

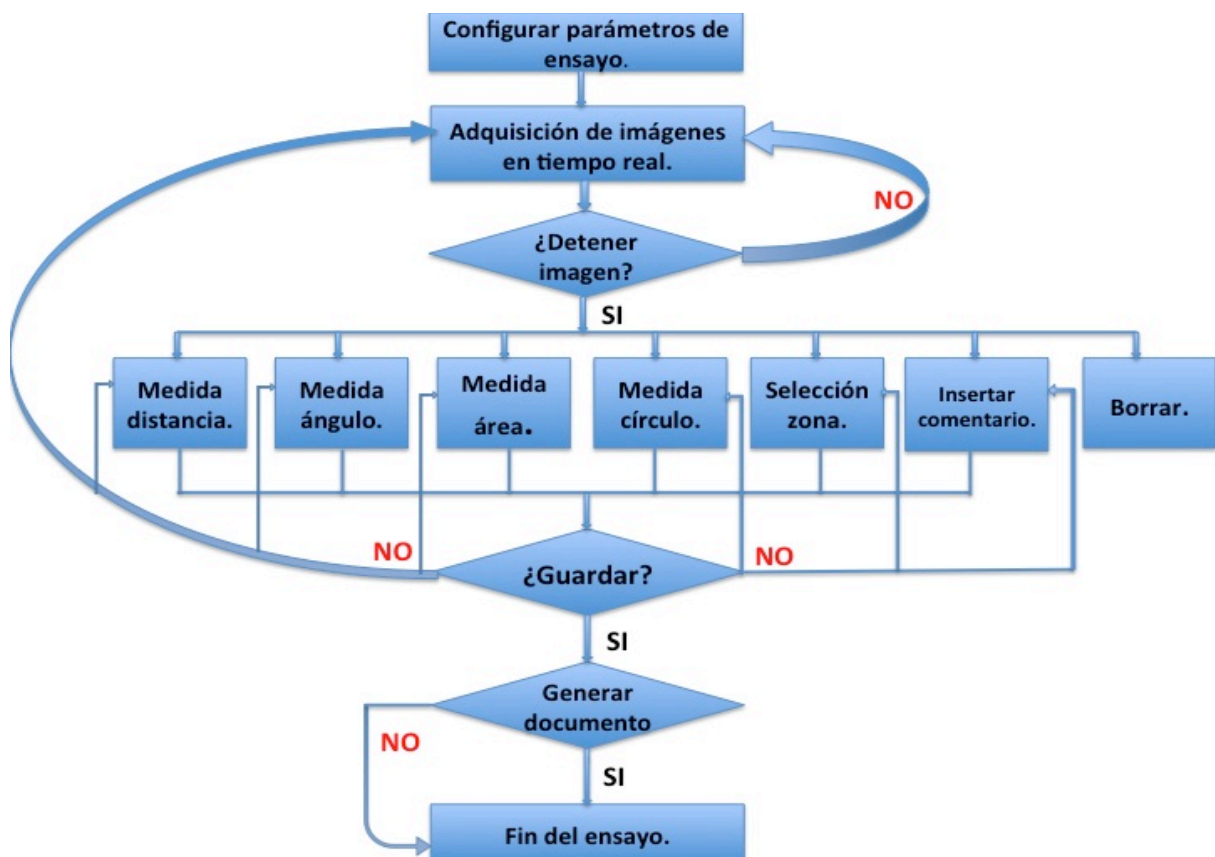


Figura 12: Diagrama de flujo de la aplicación principal.

Para que las medidas realizadas en la aplicación principal sean correctas es necesario hacer una *calibración* previa. El fin del módulo de *calibración* es que el sistema sea capaz de conocer que distancia métrica se corresponde con cuantos píxeles, dependiendo de los aumentos en los que se esté trabajando. Para ello se almacenará la

información en un fichero de *calibración* que más tarde la aplicación principal usará para conocer las dimensiones de los *defectos*.

Para la *calibración* se utiliza una retícula calibrada, figura 13, disponible también en el laboratorio, de la cual se conocen las dimensiones exactas. La *calibración* se realiza siguiendo la tabla 1. Como hay que *calibrar* con el círculo grande de la retícula, para tres aumentos distintos, y con los ejes graduados del centro para los dos aumentos mayores, el programa dispone de tres métodos para la *calibración*. El tercer método se debe a que con el aumento x20 el círculo grande no se ve completamente en la pantalla y por ello se calibra utilizando tres de los cuatro puntos marcados en cada cuarto de la circunferencia de la retícula. En la figura 14 se muestra el diagrama flujo del módulo de *calibración*.



Figura 13: Retícula para la calibración.

AUMENTOS	FORMA	DISTANCIA EN mm
x6.5	Se ajusta con el diámetro del círculo grande de la retícula	4
x10	Se ajusta con el diámetro del círculo grande de la retícula	4
x20	Se ajusta con el diámetro del círculo grande de la retícula	4
x32	Se ajusta con ejes graduados del centro	1
x50	Se ajusta con ejes graduados del centro	1

Tabla 1.

Para desarrollar la aplicación de una forma sencilla se han implementado distintos VI los cuales son llamados desde el programa principal o desde el módulo de *calibración* para realizar las distintas funciones para las que han sido programados. El uso de estos VI podría entenderse como el uso de funciones en lenguaje con código tradicional, con variables

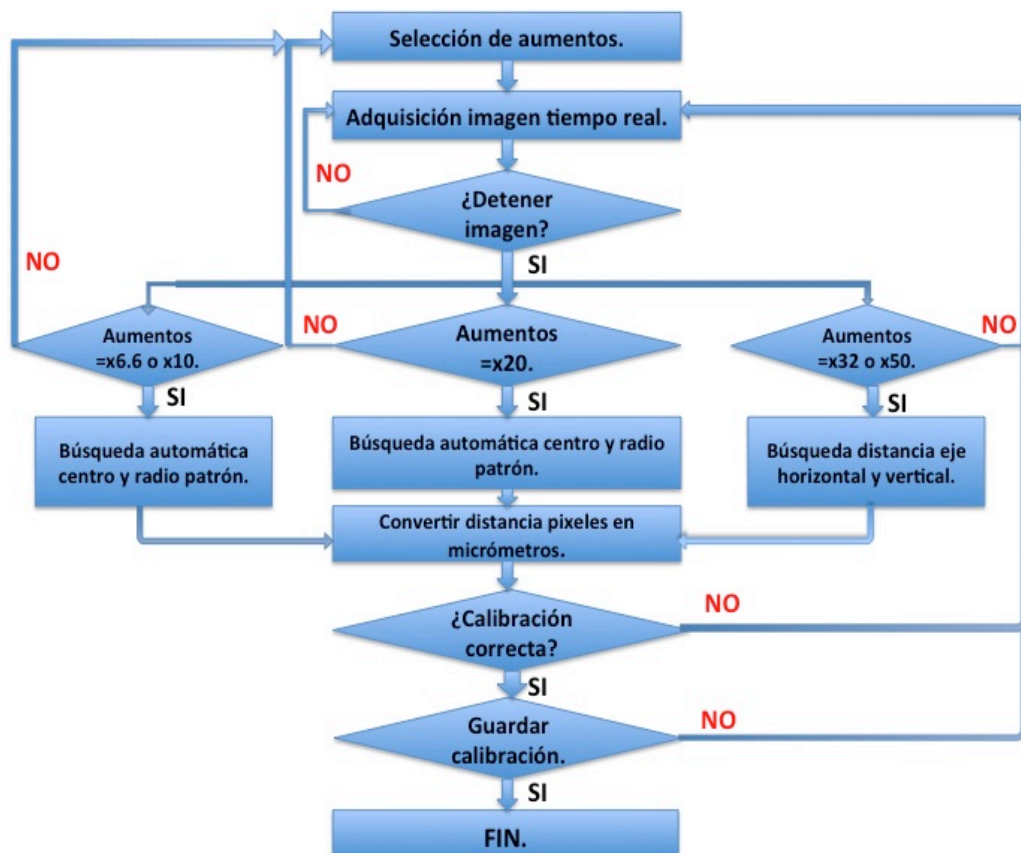


Figura 14: Diagrama de flujo del módulo de calibración.

4.1.1 Módulo principal.

Este es el módulo de la pantalla principal de la aplicación. Desde él se podrá indicar en que ruta se desea guardar la información que genere, iniciar la *calibración*, el ensayo, iniciar o detener la adquisición de imágenes, realizar el dimensionamiento de los *defectos* y almacenar la información. Además se tiene la opción de cambiar el color de las líneas, seleccionar los *frames* de adquisición, los aumentos y la opción de generar documento una vez finalizado el ensayo. En este módulo se utilizan los VIs que se han diseñado para poder realizar todas estas operaciones.

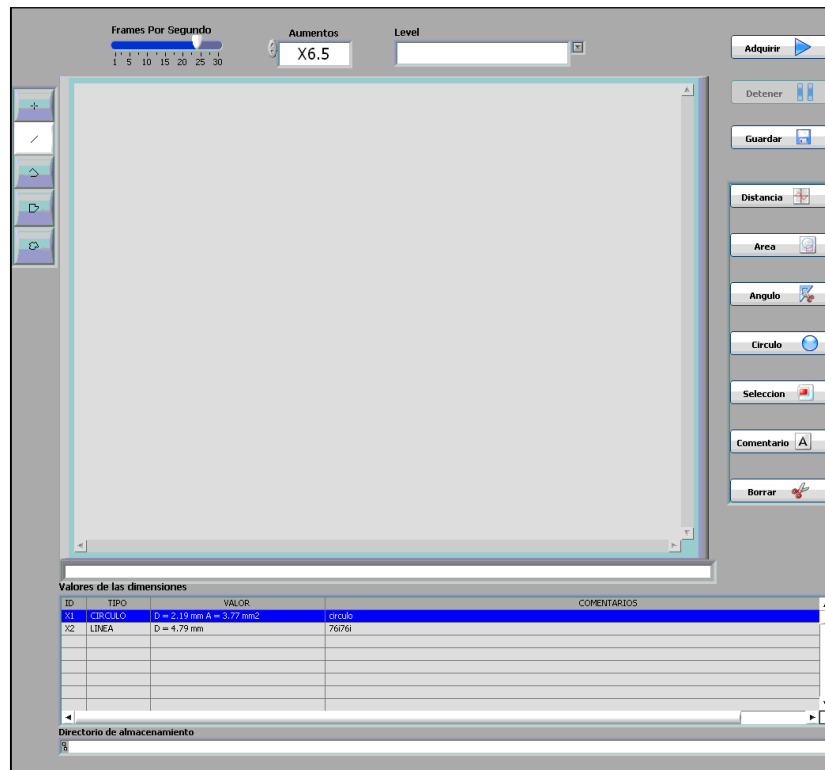


Figura 15: Panel principal.

4.1.2 Módulo guardar datos medidos.

Con este módulo se guarda la información de los datos medidos durante el ensayo en un fichero, en la ruta que se haya indicado al comienzo del ensayo.

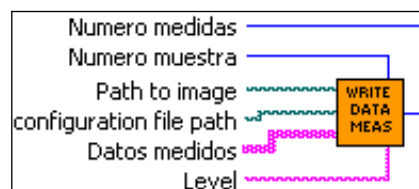


Figura 16: Módulo guardar datos medidos.

Entradas:

- Número medidas: indica el número de medidas realizadas sobre una imagen adquirida.
- Número muestra: identifica la imagen adquirida.
- Path to image: indicar la ruta en la cual se almacena la imagen adquirida y procesada.
- Configuration file path: indica la ruta en la cual se almacenará el fichero con los datos de las medidas realizadas.
- Datos medidos: array con los datos obtenidos durante el ensayo de una muestra.
- Level: indica el nivel de inspección en el cual se ha realizado el *ensayo*.

4.1.3 Módulo coordenadas ángulo.

Este módulo permite obtener las coordenadas del ángulo que se desea medir mediante la herramienta polilínea. Estas coordenadas serán usadas en el módulo de conversión datos medidos.

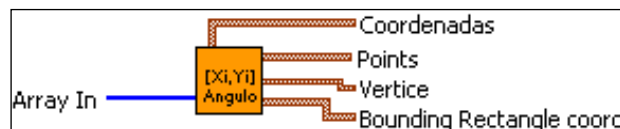


Figura 17: Módulo de obtención coordenadas para medida ángulo.

Entradas:

- Array In: coordenadas proporcionadas por la herramienta polilínea.

Salidas:

- Coordenadas: Array de cluster con los pares de puntos correspondientes a las coordenadas.

- Points: Array de dos cluster con los pares de coordenadas del inicio y fin de la polilínea.
- Vértice: Cluster del par de coordenadas del vértice principal.
- Bounding rectangle coord: Array de dos cluster con las coordenadas del rectángulo que cubre la zona de selección.

4.1.4 Módulo coordenadas.

Este módulo permite conocer las coordenadas donde se encuentra el defecto, marcado con la herramienta línea a mano alzada y polígono, coordenadas que se utilizarán más tarde en el módulo de conversión de datos medidos, para proporcionar un valor en el sistema métrico.

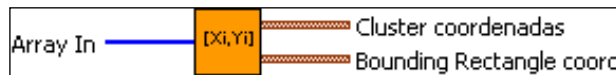


Figura 18: Módulo coordenadas.

Entradas:

- Array In: coordenadas proporcionadas por la herramienta línea a mano alzada y polígono.

Salidas:

- Cluster coordenadas: Array de cluster con los pares de puntos correspondientes a las coordenadas.
- Bounding rectangle coord: Array de dos cluster con las coordenadas del rectángulo que cubre la zona de selección.

4.1.5 Módulo información imagen calibrada.

Este módulo proporciona toda la información necesaria de la calibración, para insertarla en la imagen.



Figura 19: Módulo para insertar en la imagen calibrada la información de calibración.

Entradas:

- Datos Calib: Cluster con los datos obtenidos en la *calibración* que relacionan un píxel de la imagen con una distancia métrica real.
- Círculo: Variable que indica si la imagen calibrada se ha realizado sobre un patrón circular o sobre una cruzeta.
- Circle Data: Cluster que contiene la información del centro y del radio del círculo obtenido en base al patrón circular.

Salidas:

- String: cadena de caracteres que contiene toda la información necesaria para ser insertada en la imagen calibrada.

4.1.6 Módulo insertar comentario.

Este módulo permite introducir un comentario cuando se crea necesario. Este módulo se utiliza tanto para insertar un comentario sin más como para añadir información a la medida de un defecto.



Figura 20: Módulo insertar comentario.

Salidas:

- Comentario out: Cadena de caracteres con el comentario introducido por el usuario.

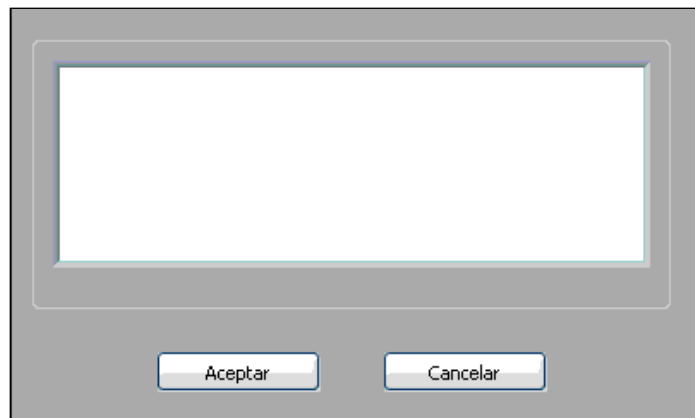


Figura 21: Panel frontal para insertar comentario.

4.1.7 Módulo selección color.

Este módulo permite cambiar el color de las líneas utilizadas para marcar los defectos.

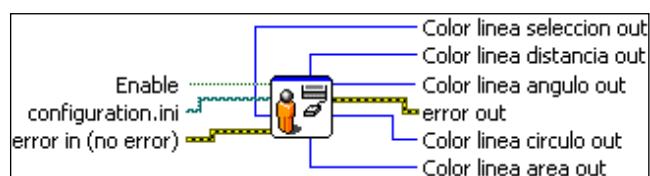


Figura 22: Módulo selección color.

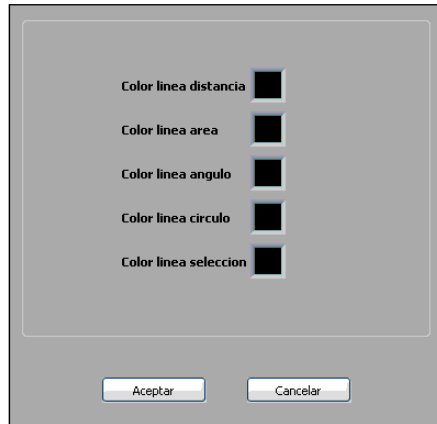


Figura 23: Panel frontal selección color.

4.1.8 Módulo lectura color configurado.

Este módulo proporciona la información necesaria para saber el color que se le ha asignado a cada herramienta.

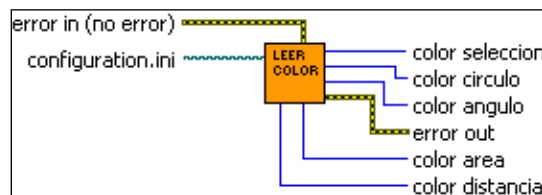


Figura 24: Módulo lectura color seleccionado.

Entradas:

- Configuration.ini: ruta al fichero de configuración el cual contiene los datos de los colores seleccionados para las herramientas.

Salidas:

- Color selección: valor del color para la herramienta selección.
- Color círculo: valor del color para la herramienta círculo.
- Color ángulo: valor del color para la herramienta ángulo.
- Color área: valor del color para la herramienta área.
- Color distancia: valor del color para la herramienta distancia.

4.1.9 Módulo parámetros iniciales de ensayo.

Este módulo toma los valores introducidos en el panel frontal y proporciona un cluster con los datos de identificación del ensayo que se esté realizando, y otro con la selección de los niveles de ensayo.



Figura 25: Módulo parámetros iniciales de ensayo.

Entradas:

- Datos generales del ensayo: cluster con los datos de identificación del ensayo.
- Requerimientos de la inspección: cluster con la selección de los niveles de ensayo.

Salidas:

- Datos Generales del ensayo out: cluster con los datos de identificación del ensayo.
- Requerimientos de la Inspección out: cluster con la selección de los niveles de ensayo.

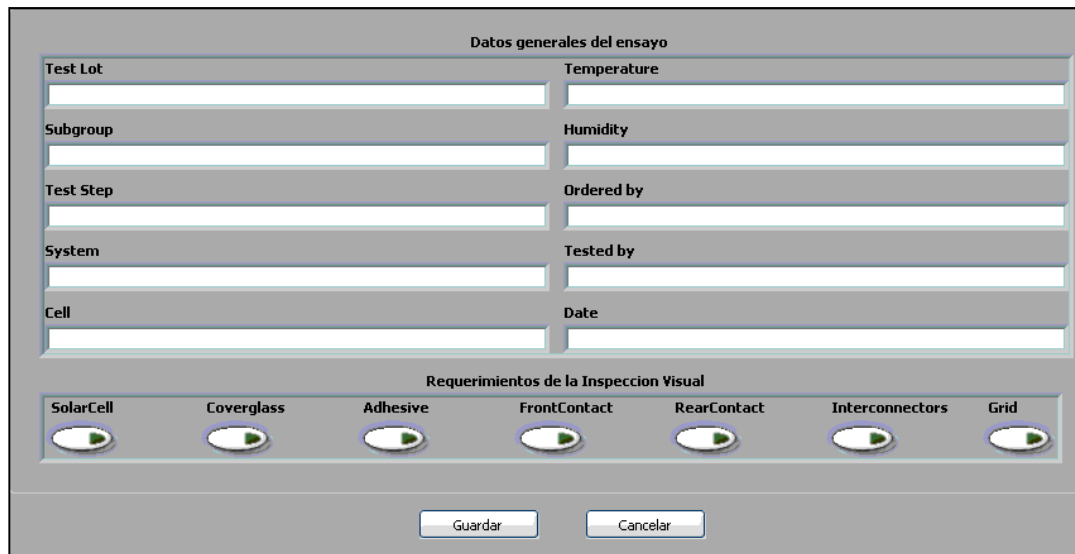


Figura 26: Panel frontal parámetros iniciales de ensayo.

4.1.10 Módulo panel calibración.

En este panel se utilizan tres métodos para la *calibración* en función de los aumentos que se hayan seleccionado. Existen tres métodos de *calibración*, y por tanto se ha diseñado un módulo por cada uno de ellos.



Figura 27: Módulo calibración.

Entradas:

- Path to Directory: ruta al directorio principal.

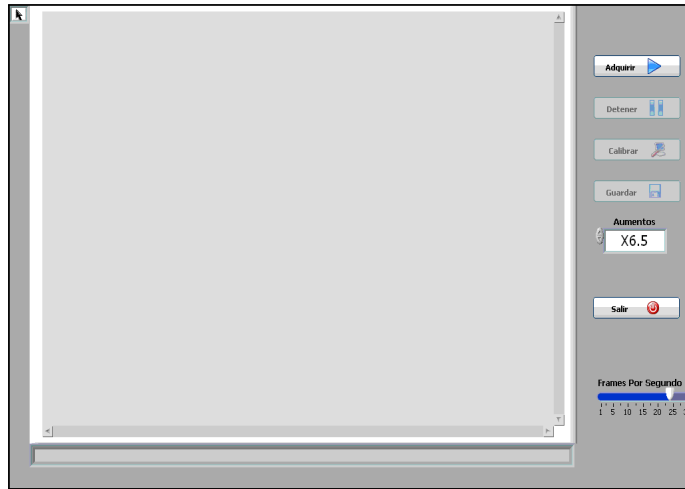


Figura 28: Panel frontal módulo calibración.

4.1.11 Módulo calibración patrón aumentos x6.5 x10.

Este módulo busca el círculo de la retícula necesario para la calibración.

En este módulo se han utilizado las siguientes funciones del *NI_Vision_Development_Module*:

- *IMAQ Find Circular Edge*: Localiza el borde circular de una zona de búsqueda.
- *IMAQ Set Simple calibration*: Esta utilidad, realiza la conversión de medida en píxel a real.

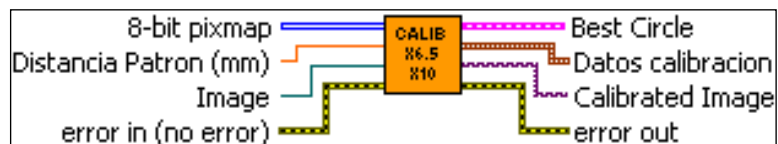


Figura 29: Módulo obtención datos calibración imagen x6.5 x10.

Entradas:

- 8-bit pixmap: array bidimensional de valores “unsigned integer 8 bits”. Cada elemento contiene un valor en escala de grises comprendido entre 0 y 255.
- Distancia patrón: valor real de la distancia del patrón a calibrar.
- Image: referencia a la imagen a calibrar.

Salidas:

- Best Circle: obtención del centro y del radio real en pixeles del patrón circular.
- Datos *calibración*: cluster con los valores convertidos de pixeles al sistema métrico.
- Calibrated Image: imagen con los datos de *calibración* obtenidos en el proceso.

4.1.12 Módulo *calibración patrón aumentos x20*.

Este módulo se ha desarrollado utilizando las mismas funciones que el anterior pero cambiando los parámetros del círculo a buscar.

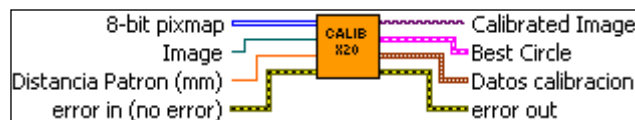


Figura 30: Módulo obtención datos calibración imagen x20.

Entradas:

- 8-bit pixmap: array bidimensional de valores “unsigned integer 8 bits”. Cada elemento contiene un valor en escala de grises comprendido entre 0 y 255.
- Distancia patrón: valor real de la distancia del patrón a calibrar.

- Image: referencia a la imagen a calibrar.

Salidas:

- Best Circle: obtención del centro y del radio real en pixeles del patrón circular.
- Datos *calibración*: cluster con los valores convertidos de pixeles al sistema métrico.
- Calibrated Image: imagen con los datos de *calibración* obtenidos en el proceso.

4.1.13 Módulo calibración patrón aumentos x32 x50.

En este módulo se han utilizado las siguientes funciones del *NI_Vision_Development_Module*:

- *IMAQ Rotate*: Gira la imagen para buscar los ejes.
- *IMAQ Color BCG Lookup*: Esta utilidad, realiza el ajuste de brillo, contraste y gama de la imagen original. Esta función es necesaria para que la cruceta de la retícula se identifique con mayor claridad.
- *IMAQ Find CoordSys (Rect) 2*: Calcula un sistema de coordenadas basado en la posición de un objeto en el área de búsqueda de la imagen.
- *IMAQ Clamp Horizontal max*: Mide una distancia en la dirección horizontal de los lados verticales de la zona de búsqueda hacia el centro del área de búsqueda.
- *IMAQ Set Simple calibration*: Esta utilidad, realiza la conversión de medida en píxel a real.

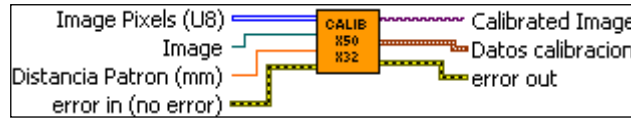


Figura 31: Módulo obtención datos calibración imagen x32 x50.

Entradas:

- 8-bit pixmap: array bidimensional de valores “unsigned integer 8 bits”. Cada elemento contiene un valor en escala de grises comprendido entre 0 y 255.
- Distancia patrón: valor real de la distancia del patrón a calibrar.
- Image: referencia a la imagen a calibrar.

Salidas:

- Datos *calibración*: cluster con los valores convertidos de píxeles al sistema métrico.
- Calibrated Image: imagen con los datos de *calibración* obtenidos en el proceso.

4.1.14 Módulo conversión píxeles a datos reales calibrados.

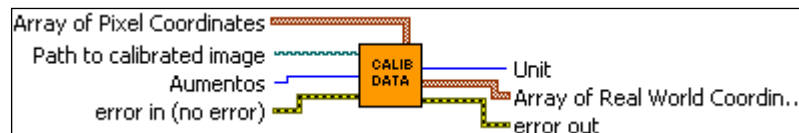


Figura 32: Módulo conversión píxeles a valores métricos.

En este módulo se realiza la conversión de píxeles a valores reales de medida. Utilizando la función *IMAQ Convert Pixel to Real World* ya existente en el paquete *NI Vision Development Module* y en base a los datos precalibrados.

4.1.15 Módulo adquisición de vídeo RGB 32 bits.

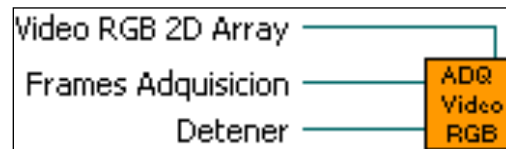


Figura 33: Módulo de adquisición de vídeo RGB 32 bits.

En este VI se pide a la tarjeta de adquisición que comience a adquirir video. La señal de video compuesto que se recibe del adaptador de la cámara se convierte en señal digital de 32 bits, 8xRED, 8xGREEN, 8x BLUE, y 8 bits de información, que en este caso no serán utilizados, es decir que la imagen será a color. Este módulo se utilizará para adquirir imágenes durante la realización del ensayo.

4.1.16 Módulo adquisición de vídeo Mono 8 bits.

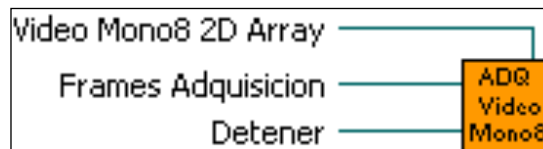


Figura 34: Módulo adquisición vídeo Mono 8 bits.

En este VI se adquiere el video del mismo modo que en el módulo anterior, pero esta vez la señal analógica de video compuesto que se obtiene del adaptador de la cámara se convertirá en señal de video digital de 8 bits, por tanto la imagen capturada será en blanco y negro. Este VI se utilizará para la adquisición de video durante el proceso de *calibración* del sistema.

4.1.17 Módulo creación de documentación.

Este módulo crea la documentación del ensayo con las fotos y los valores obtenidos:

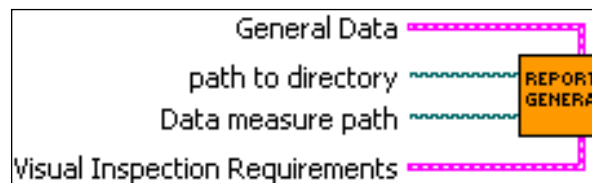


Figura 35: Módulo de generación de documentación.

Entradas:

- General data: información general del ensayo.
- Path to directory: ruta de ubicación de la plantilla Word a utilizar.
- Data measure path: ruta de ubicación del fichero con los datos del ensayo.
- Visual inspection requirements: datos de información de los niveles de ensayo.

4.1.18 Módulo lectura datos medidos.

Este módulo lee los datos del archivo donde se han guardado todos los valores medidos para insertarlo en el documento generado.

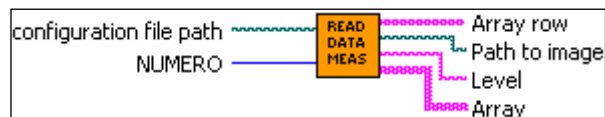


Figura 36: Módulo lectura datos medidos.

Entradas:

- Configuraron file path: ruta el fichero con los datos del ensayo.
- NUMERO: número de la muestra seleccionada.

Salidas:

- Array row: fila con los encabezados de la tabla a dibujar en el documento.
- Path To image: ruta de almacenamiento de la imagen adquirida y dimensionada.
- Level: identificación del nivel de ensayo.
- Array: Tabla con la información del ensayo para ser insertada en el documento.

4.2 Funcionamiento básico de la aplicación.

Como se ha podido ver la aplicación tiene dos finalidades realizar la *calibración* y el ensayo. A continuación se explica de forma detalla como se debe realizar ambas acciones, pero en caso de cualquier duda siempre se podrá acudir al manual de usuario el cual se encuentra adjunto al final este documento.

4.2.1 Calibración del sistema.

Este proceso solo será preciso realizarlo en tres casos: Si nunca antes se ha realizado, si alguno de los componentes del sistema ha sufrido algún cambio, o si el responsable del ensayo así lo indica. Mientras se haya realizado una primera vez los datos de *calibración* estarán almacenados, y estos datos serán usados para todos los ensayos que se desee realizar sin necesidad de repetir la *calibración* del sistema.

Arrancar el software “ViSoftware”, la fuente de luz fría y el adaptador de la cámara. Colocar la retícula para la *calibración* en el microscopio.

Pulsar el botón de *Herramientas*, en la parte superior de la pantalla principal, y seguidamente *Calibración*. Se abrirá una nueva ventana en la que se debe seleccionar los aumentos a los que se quiere realizar la *calibración*. Una vez seleccionado pulsar el botón *Adquirir*.

Dependiendo de los aumentos en los que se vaya a realizar la *calibración* se deberá ajustar la imagen de la plantilla de distinta manera. Para los aumentos x6.5, x10, la imagen que se debe ver en la pantalla del PC será la circunferencia negra de la retícula de forma completa. Para la *calibración* a x20 aumentos se debe poder ver al menos tres de los 4 puntos marcados en la circunferencia negra de la retícula. Para los aumentos x32 y x50 lo que se debe de ver es la cruceta de la parte central de la plantilla.

Una vez seleccionados los aumentos, ajustada y enfocada la imagen pulsar el botón *Detener*. Con la imagen detenida hay que pulsar el botón *Calibrar*. En el caso de los aumentos x6.5, x10 y x20, aparecerá sobre la imagen tres circunferencias más, dos verdes y una roja, junto con unas flechas azules, (ver manual de usuario al final del documento). Para que la *calibración* sea correcta la circunferencia roja deberá coincidir con la negra de la imagen inicial. Si la *calibración* es correcta se pulsará la opción *Guardar*, en el caso contrario será necesario colocar de nuevo la imagen, volver a adquirir y repetir los mismos pasos para la *calibración*.

Para la opción de x32, y x50 aumentos al pulsar el botón *Calibrar* se abrirá una nueva ventana con la imagen que se ha detenido a la izquierda, y arriba a la derecha una paleta con distintas opciones. Se escogerá la opción del cuadrado, esquina superior derecha, y se recuadrará la cruceta de la imagen. Para finalizar pulsar *OK*. La nueva pantalla desaparecerá y volverá la pantalla de *calibración*, (ver manual de usuario al

final del documento). Tanto si la *calibración* se ha realizado con éxito como si no, aparecerá un mensaje en la pantalla indicándolo. Si es correcta solo será necesario pulsar el botón *Guardar* de la pantalla. Si no lo es se debe repetir el proceso de *calibración* colocando de nuevo la plantilla.

Una vez finalizado el proceso de *calibración* se pulsará el botón *Salir* y la pantalla de *calibración* desaparecerá dejando a la vista la pantalla donde se realiza el *ensayo*.

4.2.2 Realización del ensayo.

Si no se ha realizado con anterioridad para la *calibración*, se debe encender la fuente de luz fría SCHOTT KL1500. Regular el potenciómetro para mayor o menor iluminación del soporte del microscopio. Encender el adaptador de la cámara Sony. Encender el PC y arrancar el Software “ViSoftware”.

Seleccionar fichero de almacenamiento de datos en el software, (*Archivo*→*Guardar como*). Se debe repetir este proceso por cada célula que se vaya a inspeccionar.

Colocar la célula a inspeccionar bajo el microscopio. El ensayo se realiza mirando a través del microscopio. Para ello la palanca, que está detrás de los oculares, debe estar hacia la derecha.

Enfocar la imagen del microscopio mediante la rueda de enfoque del mismo, y comenzar con la *inspección visual*, realizando un barrido por toda la célula para buscar *defectos*. Colocar la rueda de aumentos al x10 y realizar la *inspección visual*. (solo se

amplificará para matizar detalles o para medirlos, pero el barrido de la célula para ver los *defectos* generales ha de hacerse en x10 aumentos).

- **Captura y medida de un *defecto*.**

Si al realizar la *inspección visual* se encuentra algún defecto se deberán seguir los siguientes pasos para realizar una foto del *defecto* o para dimensionarlo. Verificar que el sistema de medida está calibrado. Seleccionar en la barra de herramientas de la aplicación *Iniciar Ensayo*.

Rellenar los datos del *ensayo* con la información indicada por parte del responsable del mismo. Una vez completados los campos seleccionar *Guardar*. Pulsar en la panel principal el botón de *Adquirir*.

Enfocar la imagen mediante la rueda de enfoque del microscopio. Para visualizar la célula expuesta en el microscopio en el monitor del PC la palanca, que está detrás de los oculares, debe estar hacia la izquierda.

Indicar en el área de trabajo de la aplicación los aumentos a los que se está realizando la inspección y en que nivel (pestaña *Level* de la aplicación) de la célula se encuentra el *defecto*. Cuando se considere que la imagen es adecuada pulsar el botón *Detener* de la aplicación. Debe coincidir la amplificación del microscopio con el aumento seleccionado en software.

En función del *defecto* que se quiera capturar o *dimensionar* se utilizarán las distintas opciones que ofrece el programa: medida longitudinal, diámetro, área, ángulo, o resaltar un *defecto* en cuestión. (Ver Manual de usuario al final del documento). Una vez seleccionado el *defecto* y realizada la acción que se quiera se deberá incluir en el comentario asociado el nombre del *defecto* encontrado. Los nombres de los *defectos* y

que se debe hacer en el caso de encontrar alguno viene definidos en la norma ECSS-E-ST-20-08C Rev.1 *Space engineering Photovoltaic assemblies and components* (Julio 2012). [ECSS].

Una vez realizados todos los procesos que se desee, (se podrán indicar varios *defectos* en una misma foto, y se nombrarán en función del orden en que el que se hayan indicado, como X1 a Xn), se debe pulsar el botón *Guardar* del panel principal. La foto junto con las medidas o indicaciones realizadas sobre ella quedará guardada en el fichero de almacenamiento de datos y además de se mostrará en el documento generado.

Si se han encontrado más *defectos* en cualquier otra zona de la célula se volverá a adquirir la imagen, se monitorizará el *defecto*, se enfocará y se volverá a repetir el proceso. *Detener*, realizar acciones oportunas y *Guardar*. Este proceso podrá repetirse las veces necesarias.

- **Generar documento**

Una vez terminado el ensayo se debe generar un documento por célula, tanto si se han encontrado *defectos* como sino. El documento se guarda automáticamente en la carpeta de almacenamiento seleccionada para el ensayo. En este documento aparecerá la ruta en la cual se han guardado los datos del ensayo.

En el caso en que no se haya encontrado ningún *defecto* a destacar, se debe seleccionar como nivel (pestaña *Level* de la aplicación) “All levels”. Pulsar el botón *Adquirir* y enfocar cualquier zona de la célula. Pulsar el botón *Detener* e incluir un comentario con el siguiente texto: “*No anomalies to report*”. Pulsar el botón *Guardar*. Pulsar *Herramientas* → *Generar documento* en la barra superior de la aplicación. Se

generará un documento de Word el cual se abrirá en la pantalla del ordenador y quedará almacenado en la misma ruta que se ha haya seleccionado al inicio del ensayo.

En el caso de encontrar *defectos* una vez finalizado el proceso de captura de imágenes y dimensionamiento se generará el documento. Pulsar *Herramientas* → *Generar documento* en la barra superior de la aplicación.

Finalizado el ensayo de todas las células salir del software pulsando *Archivo* → *Salir* en la barra de herramientas de la aplicación y apagar todos los componentes del sistema de *inspección visual*.

Capítulo 5. Resultados y trabajos futuros

Este capítulo se mostrarán ejemplos de los resultados obtenidos, y se contemplarán posibles mejoras para realizar trabajos futuros. Se han realizado distintas pruebas para demostrar el correcto funcionamiento de la aplicación, y los resultados han sido muy satisfactorios.

5.1 Resultados obtenidos.

En este punto se mostrarán las pruebas realizadas para demostrar el correcto funcionamiento de la aplicación y el aumento de precisión obtenido en la medidas con el nuevo sistema.

Se han realizado dos tipos de ensayos de validación. El primer tipo consta en dimensionar el propio patrón utilizado en la calibración, a diferentes aumentos, para corroborar los datos obtenidos por el programa. El segundo tipo consta en realizar una medida de inter-comparación en base a un ensayo previo realizado con el sistema de medida anterior.

5.1.1. Verificación medidas patrón.

Patrón x6.5 → Diámetro círculo patrón: 4mm

Resultados obtenidos:

	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	LINEA	D = 4.08 mm	DISTANCIA
X2	CIRCULO	D = 4.07 mm A = 13.02 mm ²	CIRCULO

Conclusiones:

Utilizando la herramienta distancia se ha obtenido una medida del diámetro de 4.08 mm valor que se desvía un 2% del valor real del diámetro del patrón. Esta desviación se considera dentro de los márgenes asumibles.

Utilizando la herramienta círculo se ha obtenido una medida del diámetro de 4.07 mm, valor que se desvía un 1,75% del valor real del diámetro del patrón. El valor del área del círculo se verifica que es correcto en base al valor del diámetro obtenido ($A = \pi \cdot R^2$).

Patrón x10 → Diámetro círculo patrón: 4mm

Resultados obtenidos:

	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	LINEA	D = 4.06 mm	DISTANCIA
X2	CIRCULO	D = 4.08 mm A = 13.06 mm ²	CIRCULO

Conclusiones:

Utilizando la herramienta distancia se ha obtenido una medida del diámetro de 4.06 mm valor que se desvía un 1.5% del valor real del diámetro del patrón. Esta desviación se considera dentro de los márgenes asumibles.

Utilizando la herramienta círculo se ha obtenido una medida del diámetro de 4.08 mm, valor que se desvía un 2% del valor real del diámetro del patrón. El valor del área del círculo se verifica que es correcto en base al valor del diámetro obtenido ($A = \pi \cdot R^2$).

Patrón x20 → Diámetro círculo patrón: 4mm

Resultados obtenidos:

	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	LINEA	D = 4.05 mm	DISTANCIA
X2	CIRCULO	D = 4.05 mm A = 12.86 mm ²	CIRCULO

Conclusiones:

Utilizando la herramienta distancia se ha obtenido una medida del diámetro de 4.05 mm valor que se desvía un 1.25% del valor real del diámetro del patrón. Esta desviación se considera dentro de los márgenes asumibles.

Utilizando la herramienta círculo se ha obtenido una medida del diámetro de 4.05 mm, valor que se desvía un 1.25% del valor real del diámetro del patrón. El valor del área del círculo se verifica que es correcto en base al valor del diámetro obtenido ($A = \pi \cdot R^2$).

Patrón x32 → Distancia eje patrón: 1mm

Resultados obtenidos:

	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	LINEA	D = 989.68 μ m	DISTANCIA
X2	LINEA	D = 994.32 μ m	DISTANCIA
X3	ANGULO	ANG = 90.00 °	ANGULO
X4	CIRCULO	D = 997.55 μ m A = 781554.33 μ m ²	CIRCULO

Conclusiones:

Utilizando la herramienta distancia se ha obtenido una medida del eje horizontal de 989.68 um valor que se desvía un 1.04% del valor real del eje horizontal del patrón. Esta desviación se considera dentro de los márgenes asumibles.

Utilizando la herramienta distancia se ha obtenido una medida del eje vertical de 994.32 um valor que se desvía un 0.5% del valor real del eje vertical del patrón. Esta desviación se considera dentro de los márgenes asumibles.

Utilizando la herramienta ángulo se ha medido el ángulo formado entre los dos ejes dando como resultado el valor esperado de 90°.

Utilizando la herramienta círculo se ha obtenido una medida del diámetro de 997.55 um, valor que se desvía un 0.25% del valor real del eje vertical u horizontal del patrón. El valor del área del círculo se verifica que es correcto en base al valor del diámetro obtenido ($A = \pi \cdot R^2$).

Patrón x50 → Distancia eje patrón: 1mm

Resultados obtenidos:

	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	LINEA	D = 959.32 um	DISTANCIA
X2	LINEA	D = 966.79 um	DISTANCIA
X3	LINEA	D = 996.81 um	DISTANCIA
X4	LINEA	D = 999.25 um	DISTANCIA
X5	ANGULO	ANG = 90.00 °	ANGULO
X6	CIRCULO	D = 967.02 um A = 734444.62 um ²	CIRCULO

Conclusiones:

Utilizando la herramienta distancia se ha obtenido una primera medida del eje horizontal de 966.79 um valor que se desvía un 3.4% del valor real del eje horizontal del patrón, volviendo a repetir la medida con mejor precisión se ha obtenido un valor de 999.25um que se desvía un 0.07% del valor real del eje horizontal del patrón. Esta desviación se considera dentro de los márgenes asumibles.

Utilizando la herramienta distancia se ha obtenido una primera medida del eje horizontal de 959.32 um valor que se desvía un 4.2% del valor real del eje vertical del patrón, volviendo a repetir la medida con mejor precisión se ha obtenido un valor de 996.81um que se desvía un 0.3% del valor real del eje vertical del patrón. Esta desviación se considera dentro de los márgenes asumibles.

Utilizando la herramienta ángulo se ha medido el ángulo formado entre los dos ejes dando como resultado el valor esperado de 90°.


Utilizando la herramienta círculo se ha obtenido una medida del diámetro de 967.02 um, valor que se desvía un 3.4% del valor real del eje vertical u horizontal del patrón. El valor del área del círculo se verifica que es correcto en base al valor del diámetro obtenido ($A = \pi \cdot R^2$).

Se ha verificado que en la opción X50 aumentos las medidas obtenidas dependen fundamentalmente de dos parámetros, el primero, que la calibración realizada del patrón sea realizada de manera precisa; y segundo, que las medidas trazadas por el operario sean también realizadas de una manera muy exacta. Incluso no teniendo en cuenta estos factores las medidas no se desvían más del 5%, valor asumible perfectamente en este ensayo y con este tipo de aumento.

5.1.2. Ensayo de Intercomparación.

La verificación siguiente se basa en comparar los datos obtenidos con el sistema de medida anterior y con el nuevo software de inspección visual, al medir la célula #44 del proyecto P0017-10.

Ensayo realizado el día 04/01/12 con el sistema de inspección visual antiguo:



VISUAL INSPECTION

VISUAL INSPECTION SYSTEM

GENERAL DATA

Test Lot:	P0017-10	System:	VI-2	Ordered by:	23/01/12 <i>Anna</i>
Subgroup:	2C (SCA)	Cell:	# 44 (GAP 123 54)	Tested by:	<i>Jose V.</i>
Test Step:	1	Temperature (°C):	22,3 °C	Date:	4-01-12
SP-RPI-7251-001-INTA-12 (9 SCA on plates)		Humidity (%RH):	22 %		

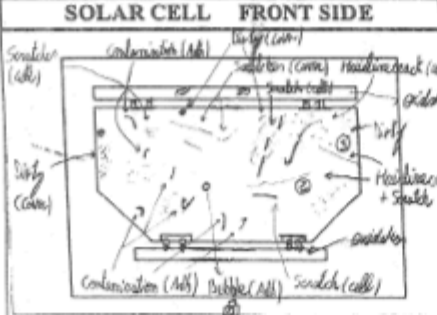
VISUAL INSPECTION REQUIREMENTS

Solar Cell LEVEL	To be Examined	Tested
Solar Cell:	YES	✓
Coverglass:	YES	✓

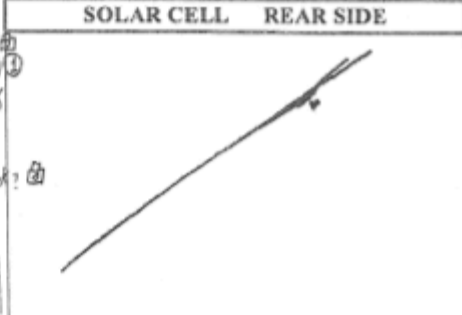
Solar Cell LEVEL	To be Examined	Tested
Adhesive:	YES	✓
Front Contact:	YES	✓
Rear Contact:	NO	✓

Solar Cell LEVEL	To be Examined	Tested
Interconnectors:	YES	✓
Grid:	YES	✓

SOLAR CELL FRONT SIDE



SOLAR CELL REAR SIDE



LEVEL	DESCRIPTION OF THE DEFECT (Dimensions in mm)
Solar cell	<ul style="list-style-type: none"> Scratches Headlinecrack
Coverglass	<ul style="list-style-type: none"> Dirt Scratches
Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Contamination Bubble (d < 0,4 mm) [Photo: # 44_Bubble.jpg]
Interconnectors	<ul style="list-style-type: none"> oxidation

SPA-PRO-7251-032-INTA-01, ed. 01

Las medidas obtenidas en este ensayo fueron:

Solar cell:

- Hairlinecrack 1: $d \approx 4.5$ mm
- Hairlinecrack 2: $d \approx 9.5$ mm
- Hairlinecrack 3: $d \approx 11$ mm

Adhesive:








- Bubble: $d < 0.4$ mm

Este ensayo ha sido repetido utilizando el nuevo sistema de inspección visual el día 22/11/12.

GENERAL DATA

<i>Test Lot:</i>	P0017-10	<i>System:</i>	VI2	<i>Ordered by:</i>	Ana
<i>Subgroup:</i>	2C	<i>Cell:</i>	#44	<i>Tested by:</i>	Almudena
<i>Test Step:</i>	1	<i>Temperature (°C)</i>	20.5	<i>Date:</i>	22/11/2012
		<i>Humidity (%RH)</i>	38.6		
<i>Path: C:\Data\pruebas VI\Prueba de validación SW VI#44 P0017-10\report_22_11_12_11_54.doc</i>					

VISUAL INSPECTION REQUIREMENTS

<i>Solar Cell LEVEL</i>	<i>Tested</i>	<i>Solar Cell LEVEL</i>	<i>Tested</i>	<i>Solar Cell LEVEL</i>	<i>Tested</i>
<i>Solar Cell:</i>		<i>Adhesive:</i>		<i>Interconnectors:</i>	
<i>Coverglass:</i>		<i>Front Contact</i>		<i>Grid:</i>	
		<i>Rear Contact:</i>			

Level: SOLAR CELL Aumento: X10



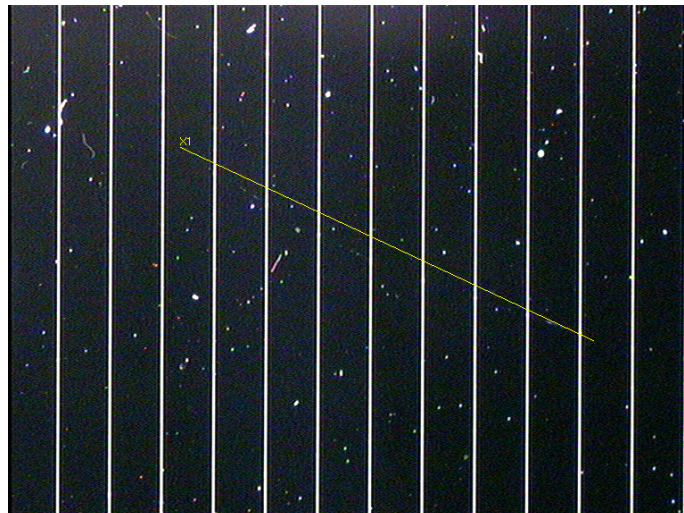
	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	LINEA	D = 5.03 mm	Hairlinecrack 1

Level: SOLAR CELL Aumento: X10



	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	LINEA	D = 6.86 mm	Hairlinecrack 2

Level: SOLAR CELL Aumento: X6.5



	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	LINEA	D = 10.99 mm	Hairlinecrack 3

Level: ADHESIVE Aumento: X20



	TIPO DE MEDIDA	VALOR MEDIDA	COMENTARIOS
X1	CIRCULO	D = 422.64 um A = 140290.85 um2	Bubble

A continuación se muestra una tabla con los datos obtenidos con el procedimiento antiguo y con el nuevo. En ella se demuestra que el aumento de precisión de los valores tomados con uno y otro sistema. Además de esto, el poder almacenar las fotos adquiridas, pudiendo resaltar de alguna manera el *defecto*, hacen que con el nuevo método de ensayo se pueda llevar un mayor control del estado de las células en todo momento.

	Sistema actual	Sistema anterior
Defecto	Hairlinecrack 1	Hairlinecrack 1
Medida realizada	D = 5.03 mm	D=4.5 mm
Defecto	Hairlinecrack 2	Hairlinecrack 2
Medida realizada	D = 6.86 mm	D=9.5 mm
Defecto	Hairlinecrack 3	Hairlinecrack 3
Medida realizada	D = 10.99 mm	D= 11 mm
Defecto	Bubble	Bubble
Medida realizada	D = 422.64 μm ; A = 140290.85 μm^2	D< 0,4 mm

5.2 Trabajos futuros.

El mayor problema que se encuentra a la aplicación es que no permite indicar en que parte de la célula encontramos el *defecto*. Es decir la posición exacta del mismo. Esto se debe a que el microscopio no permite visualizar la célula al 100% en ninguno de sus aumentos. Esto impide que se pueda realizar una foto de la célula completa, y con esta crear una plantilla, para poder situar los *defectos* de manera precisa.

No todas las células con las que se trabaja en el laboratorio tienen la misma forma y ni por supuesto las mismas dimensiones. Para poder indicar dentro del documento generado la posición de los defectos sería necesario adquirir un microscopio de mayor campo de visión, y desarrollar un módulo más que se podría incorporar a la aplicación actual, el cual después de tomar una foto de la célula completa genere una

plantilla, que se ajuste a la imagen según los aumentos indicados, y así almacenar la información del *defecto* y de la posición en la que se ha encontrado.

El proyecto realizado hasta el momento no automatiza el proceso de reconocimiento de *defectos*. Este sería un punto interesante a tratar en un futuro. Para ello sería necesario almacenar en una base de datos distintos defectos que pueden aparecer en las células y realizar una comparación para identificar que tipo de defecto se está visualizando.

LabVIEW dispone de las herramientas necesarias para realizar este tipo de procesos gracias al módulo de visión con el cuál se pueden realizar acciones de procesamiento de imágenes y análisis de imagen.

V1. Pliego de condiciones

En esta sección se incluyen equipos utilizados y los programas requeridos para la realización del proyecto.

1. Equipos físicos.

- Microscopio Zeiss Stemi 2000-C.
- Cámara SONY DXC-930P.
- Adaptador de cámara SONY CMA D2.
- Sistema iluminación KL1500 electronic SCHOTT Zeiss.
- Tarjeta de adquisición analógica de video MATRIX VISON Delta.
- Un ordenador con:
 - Un procesador Core i3 o superior.
 - 2GB de espacio en su disco duro. 2Gb RAM.
 - Resolución de pantalla de 1024x768 o superior.
- Impresora y material de oficina.

2. Equipos lógicos.

- Windows XP o superior.
- *LabVIEW* 8.6 o superior.
- Toolkit NI Vision 2009 o superior.
- Toolkit NI Office Report.
- Drivers tarjeta de adquisición de video MATRIX VISION Delta.
- Procesador de textos Word 2007.

VII. Presupuesto.

En esta sección se estima el importe de la ejecución del proyecto. Para ello se realizará un estudio dividido en diversos apartados, en los cuales se agrupan los gastos según su origen.

1. Coste de los materiales.

En este apartado se engloba el precio del uso de los diversos equipos empleados para desarrollar el presente trabajo, describiendo tanto el precio de la parte hardware como el de la parte software. Por último, se hará un pequeño resumen del conjunto de material de oficina utilizado durante la realización del proyecto.

1.1. Recursos hardware.

EQUIPO	Coste hora	Total horas
1. Ordenador HP Pavilion DV6	2 €	110 horas
2. Impresora HP 4500	2 €	10 horas
3. Impresora Xerox Phaster 7750	3 €	5 horas

Coste total de los recursos hardware 255 €

1.2. Recursos software.

EQUIPO	Coste hora	Total horas
1. LabView 8.6 *	0 €	70 horas
2. Word 2007	1 €	40 horas

Coste total de los recursos software 40 €

*En este proyecto se ha utilizado la versión de evaluación de 30 días, cuyo coste es gratuito.

1.3. Material de oficina.

EQUIPO	Coste
1. Material fungible (papel, repuestos impresora,...)	60 €
2. Material no fungible	30 €

Coste total del material de oficina 90 €

Llegados a este punto, se puede realizar el cálculo final del coste que suponen el conjunto de todos los materiales:

Total de los recursos hardware 255 €

Total de los recursos software 40 €

Total de material de oficina 90 €

Coste total del material 385 €

El coste total de los materiales asciende a *trescientos ochenta y cinco* euros.

2. Coste de la mano de obra.

La realización de este proyecto ha sido llevada a cabo por las siguientes personas:

EQUIPO	Coste hora	Total horas
1. Un Ingeniero Técnico Industrial encargado de la redacción del proyecto.	50 €	70 horas
2. Un mecanógrafo encargado del mecanografiado del proyecto	30 €	40 horas

Coste total de la mano de obra 4.700 €

El coste total de la mano de obra asciende a *cuatro mil setecientos* euros.

3. Presupuesto de ejecución de material

Es la suma total de los importes del coste de materiales y de la mano de obra.

Coste total del material 385 €

Coste total de la mano de obra 4.700 €

Coste total de ejecución de material 5.085 €

El presupuesto total de ejecución del material asciende a *cinco mil ochenta y cinco* euros.

4. *Importe de ejecución por contrata.*

Se incluyen en este apartado los gastos derivados del uso de las instalaciones donde se ha llevado a cabo el proyecto, cargas fiscales, gastos financieros, tasas administrativas y derivados de las obligaciones de control del proyecto. De igual forma se incluye el beneficio industrial. Para cubrir estos gastos se establece un recargo del 22% sobre el importe del presupuesto de ejecución material.

Coste total de ejecución de material 5.085 €

22% gastos financieros, beneficios, etc... 1118,7 €

Coste total de ejecución por contrata 6203,7 €

El importe de ejecución por contrata asciende a *seis mil doscientos tres con setenta* céntimos.

5. *Honorarios facultativos.*

Los honorarios facultativos por la ejecución de este proyecto se determinan de libre acuerdo, tal como indica, el Artículo 20 del REAL DECRETO 901/2007, de 6 de Julio “Los honorarios son libres y los colegiados podrán pactar su importe y las condiciones de pago con su cliente, si bien deberán observar las prohibiciones legales relativas a la competencia desleal”.

Se ha fijado en este proyecto un porcentaje del 7% sobre el coste total de ejecución por contrata.

Honorarios facultativos = 0,07 x Coste total de ejecución por contrata

0,07 x 6203,7 434,26 €

Honorarios facultativos 434,26 €

6. *Derechos de Visado.*

Los derechos correspondientes al visado del Proyecto se calculan aplicando al presupuesto de ejecución el porcentaje (%) indicado en la columna "COEFICIENTE DE APLICACIÓN" de cada tramo y sumando los importes parciales así obtenidos.

COSTE TOTAL DE EJECUCIÓN	COEFICIENTE DE APLICACIÓN
HASTA 30.050 €	0,00255
EXCESO DE 30.050 € HASTA 60.100 €	0,00216
EXCESO DE 60.100 € HASTA 90.150 €	0,00178
EXCESO DE 90.150 € HASTA 150.253 €	0,00153
EXCESO DE 150.253 € HASTA 300.505 €	0,00127
EXCESO DE 300.505 € HASTA 601.010 €	0,00102
EXCESO DE 601.010 € HASTA 3.005.060 €	0,00045
EXCESO DE 3.005.060 € HASTA 6.010.120 €	0,00015
EXCESO DE 6.010.120 €	0,00005

Importe derechos de visado:

6203,7 x 0,00255 15,82 €

Total derechos de visado 15,82 €

El importe total de los derechos de visado es de *quince euros con ochenta y dos céntimos*.

7. *Presupuesto total.*

El importe del presupuesto total de este proyecto es:

Presupuesto por contrata	6203,7 €
Honorarios facultativos	434,26 €
Derechos de Visado	15,82 €

Presupuesto total	6653,78 €
21% de IVA	1397,29 €

Presupuesto final	8051,07 €
-------------------------	-----------

El importe total de este proyecto asciende a la cantidad de OCHO MIL CINCUENTA Y UN euro con SIETE céntimos.

En Alcalá de Henares, a 10 de Diciembre de 2012.

El Ingeniero Técnico Industrial en Electrónica Industrial

VIII. Manual de usuario.

Instalación del software.

Puede instalar y ejecutar “ViSoftware” en ordenadores que usen plataformas Windows y que tengan las especificaciones listadas a continuación.

- Windows XP o superior. En Windows XP Professional necesita permisos administrativos para poder instalar “ViSoftware”.
- *LabView* Run Time engine 8.6.1 o superior.
- NI VISION 2009 Run Time Engine
- NI-VISA 4.5 o superior.
- Un procesador Pentium 4.
- 200 MB de espacio en su disco duro.
- 2Gb RAM.
- Unidad lectora de USB (sólo para instalar desde un pendrive).
- Resolución de pantalla de 1024x768 o más.

Para instalar en Windows.

1. Inserte el pendrive con el programa “ViSoftware” en un puerto USB o ejecute el programa de instalación que haya descargado en el disco duro del ordenador. Se abrirá el instalador de “ViSoftware”.

2. Escoja la ruta de instalación y oprima *Aceptar*.

3. Pulsar el botón *Siguiente* en el instalador para iniciar la instalación.

4. Lea el texto de la licencia y oprima *Sí* para aceptarlo. Si no acepta la licencia y oprime *No* el programa de instalación no instalará la aplicación.

El instalador le informará acerca del progreso en la instalación de la aplicación. Al finalizar pulse *Terminar* para completar la instalación.

Para desinstalar en Windows.

Para desinstalar la aplicación en Windows puede usar el panel de control para agregar o quitar programas en Windows.

Área de Trabajo

Al ejecutar la aplicación aparecerá la siguiente pantalla:

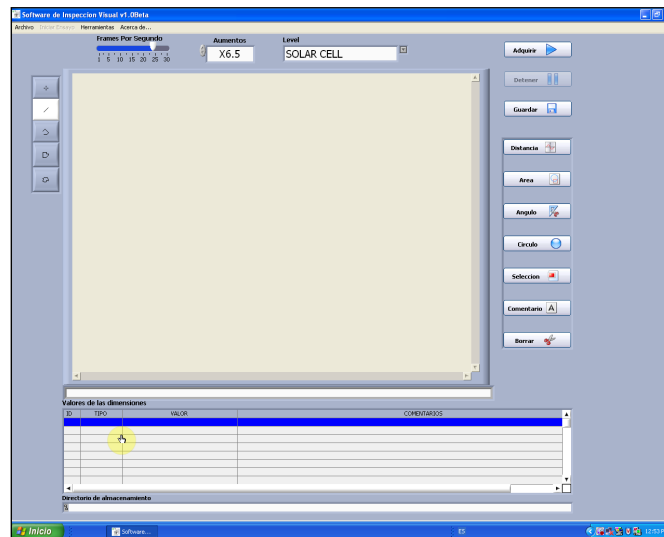


Figura 37: Pantalla principal de la aplicación.

La figura 37 muestra el área de trabajo en el cual se puede calibrar el sistema y realizar el ensayo.

Calibración del sistema

Este proceso solo se realizará cuando sea necesario, o cuando el responsable del ensayo lo indique. Al realizar el proceso de *calibración* una primera vez este quedará almacenado y se podrá seguir utilizando para distintos ensayos. Presionar el botón de *Herramientas*, en la parte superior de la pantalla principal, *Calibración*.

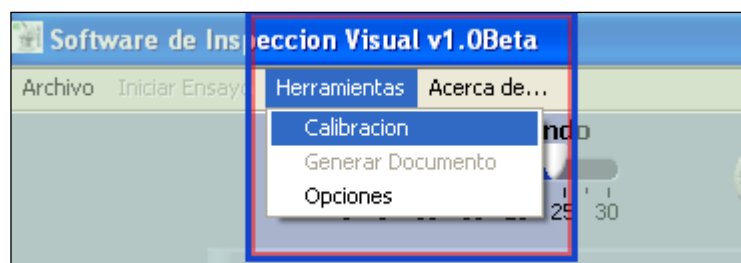


Figura 38: Selección opción calibración.

Al presionar la opción *Calibración* se abrirá una nueva ventana donde se realizarán todos los pasos necesarios para la *calibración* del sistema.

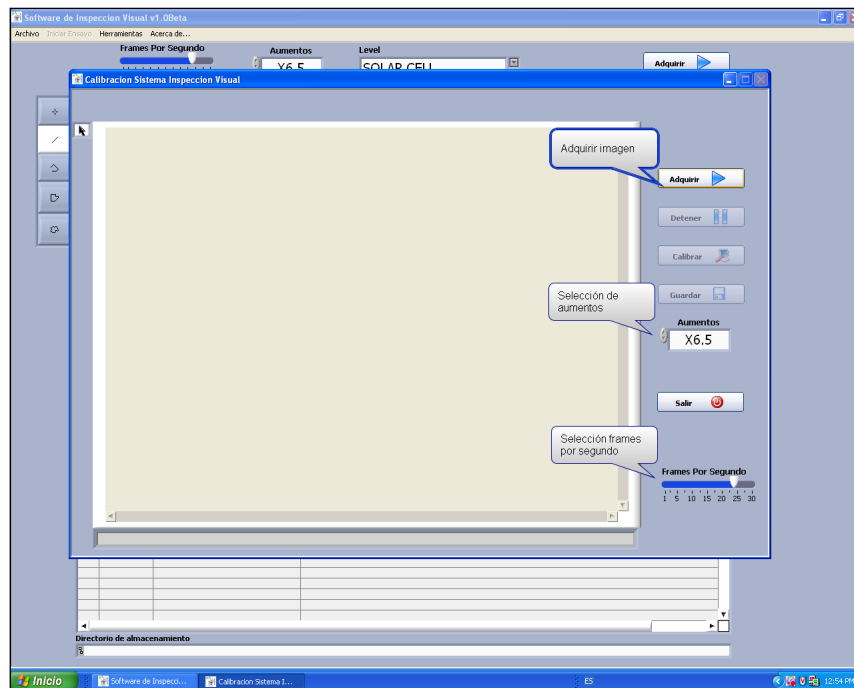


Figura 39: Pantalla de calibración.

En esta pantalla se puede seleccionar los *frames* por segundo para que la imagen se mueva lo menos posible. Por defecto están seleccionados 25 *frames* por segundo. El siguiente paso es indicar en la pestaña de aumentos para cuantos aumentos se va a realizar la *calibración*. El software permite cinco opciones, x6.5, x10, x20, x32 y x50. La opción elegida debe coincidir con los aumentos en el microscopio.

Colocar la plantilla en el microscopio. Siempre que se quiera iniciar la *calibración* se presionará el botón de *Adquirir*, y aparecerá en la pantalla la imagen de la retícula a través del microscopio.

Calibración para los aumentos x6.5, x10 y x20.

Para esta *calibración* se debe colocar la plantilla de tal forma que la circunferencia negra de la misma aparezca en la pantalla. Para la opción de x20 aumentos, la imagen se hace más grande y no es posible visualizar la circunferencia completa en la pantalla, así que será necesario colocar la plantilla de tal forma que se pueda apreciar tres de los cuatro puntos marcados en la circunferencia, indistintamente de que tres puntos sean.

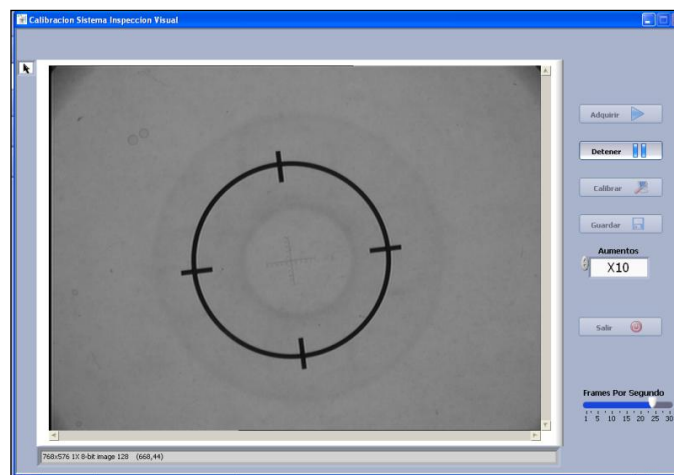


Figura 40: Imagen calibración x10 (x6.5).

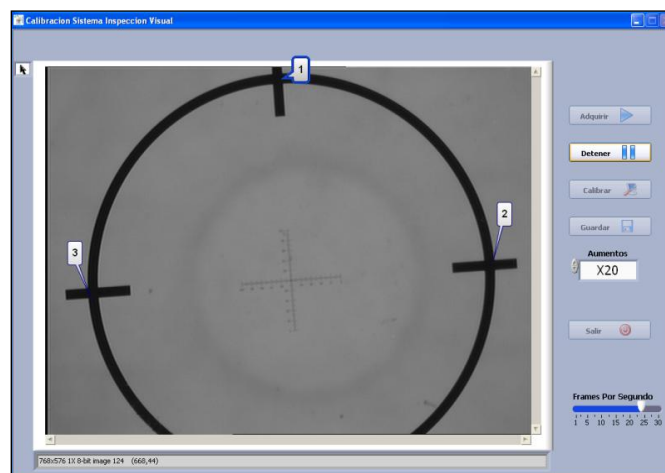


Figura 41: Imagen calibración x20.

Cuando la imagen visualizada en la pantalla se considere adecuada, se presionará la opción *Detener* que por el momento es la única opción activa. Una vez

pulsado este botón se activarán el resto de opciones. El siguiente paso es presionar el botón *Calibrar*.

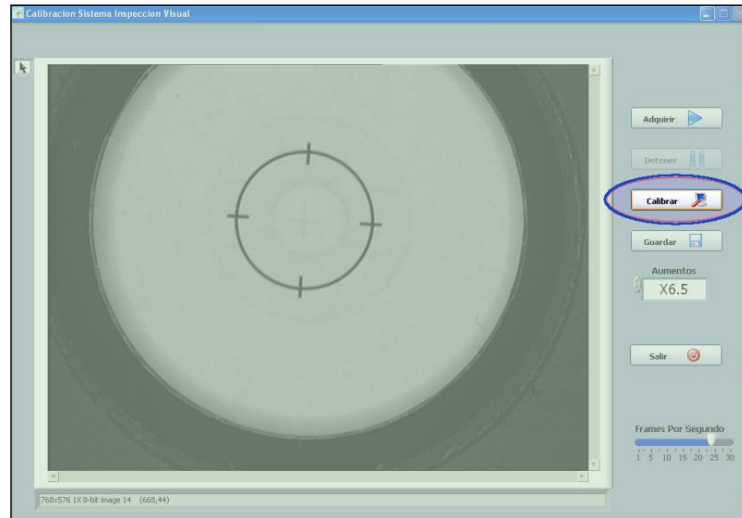


Figura 42: Opción Calibrar.

Después de oprimir esta opción se realiza la *calibración*. Aparecerá sobre la imagen tres circunferencias más, dos verdes y una roja, junto con unas flechas azules. Para que la *calibración* sea correcta la circunferencia roja deberá coincidir con la negra de la imagen inicial. Si la *calibración* es correcta se presionará la opción *Guardar*, en el caso en el que la *calibración* sea errónea será necesario colocar de nuevo la imagen, volver a adquirir y realizar otra vez los pasos descritos anteriormente para la *calibración*.

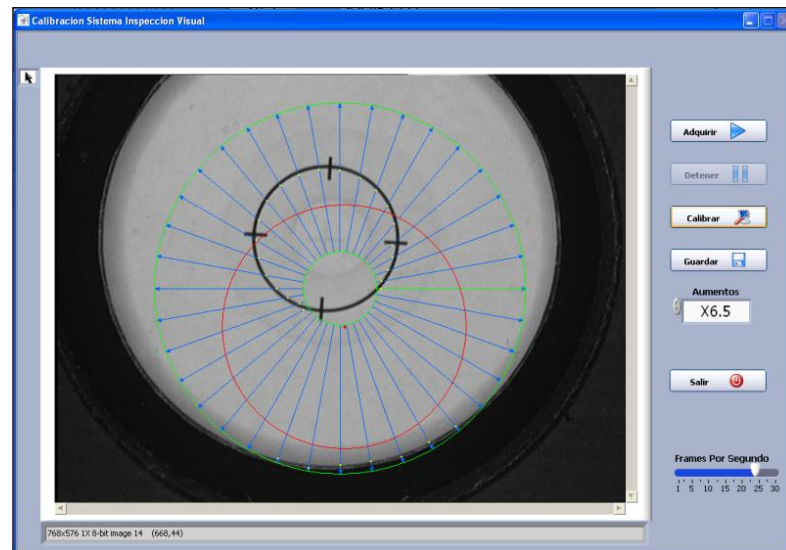


Figura 43: Calibración errónea.

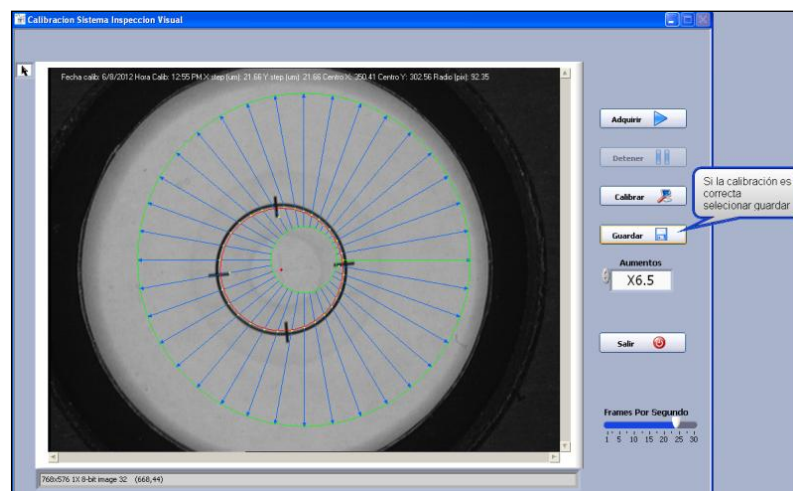


Figura 44: Calibración correcta.

Una vez que guardada la *calibración* se podrá, continuar con las calibraciones para otros aumentos, adquiriendo una nueva imagen, o comenzar con el ensayo.

Calibración para los aumentos x32 y x50.

Antes de iniciar cualquier *calibración* se debe presionar el botón *Adquirir*, para poder ver en la pantalla lo que se vería a través del microscopio. Para estas calibraciones se deberá colocar la plantilla de tal forma que la cruceta del centro de la misma se vea claramente en la pantalla.

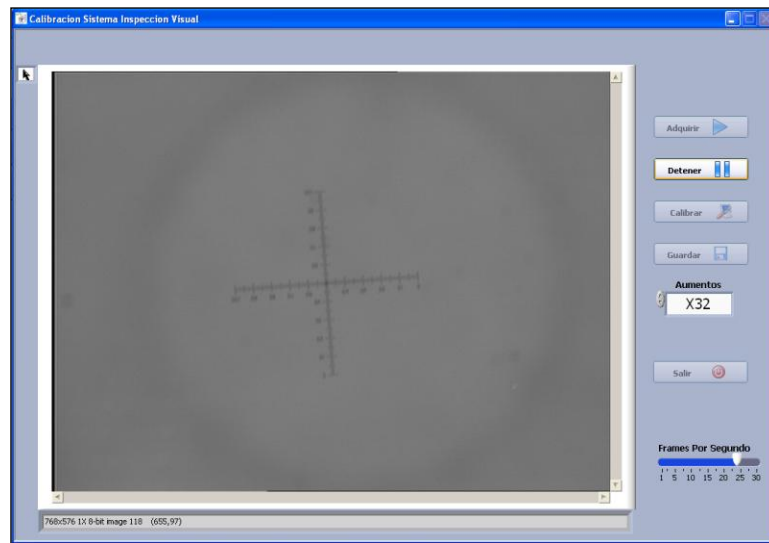


Figura 45: Imagen calibración x32 (x50).

Después de ajustar la imagen, y cuando se considere que está bien enfocada para la *calibración*, se presionará el botón *Detener* y a continuación el de *Calibrar*. En este momento aparecerá una nueva ventana con la imagen que se ha detenido y una paleta con distintas opciones colocada en la parte superior derecha de la imagen. Se escogerá la opción del cuadrado, esquina superior derecha, y se recuadrará la cruceta de la imagen. Para finalizar presionar *OK*.

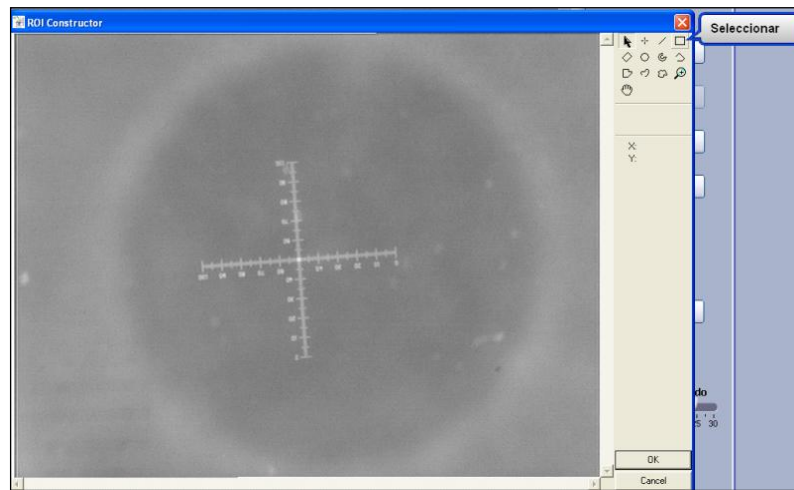


Figura 46: Ventana calibración x32 (x50).

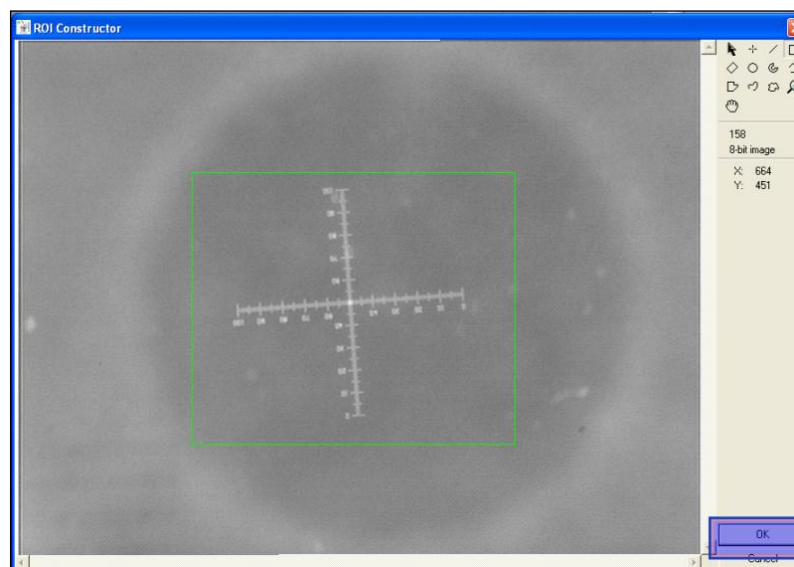


Figura 47: Recuadrar cruceta.

Una vez que se haya pulsado *OK* se vuelve a la pantalla de calibración, y aparecerá sobre la imagen capturada una cuadrícula con distintas marcas.

Si la *calibración* es errónea aparecerá un aviso en la pantalla indicando que la imagen no es válida para la *calibración*, y pedirá que se capture una imagen nueva. Se presionará *Aceptar* y se comienza de nuevo con el proceso de *calibración*.

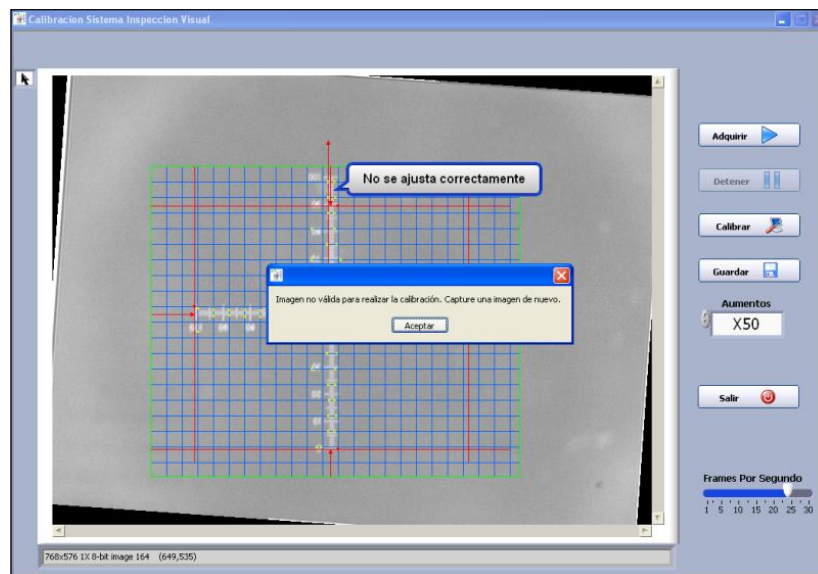


Figura 48: Calibración errónea x50 (x32).

Si la *calibración* es correcta aparecerá otro aviso indicándolo y se presionará *Aceptar* (figura 49). Después solo quedará presionar la opción de *Guardar* para que la *calibración* quede almacenada.

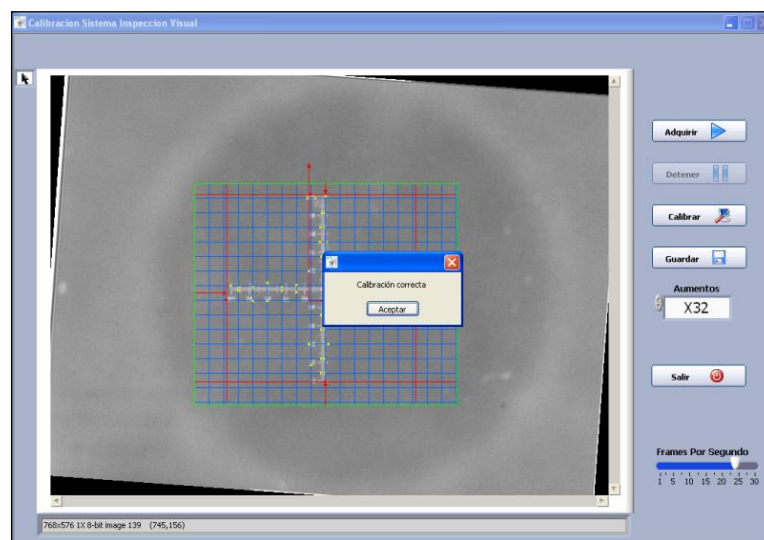


Figura 49: Calibración correcta x32 (x50).

Una vez terminado el proceso de *calibración*, se presionará el botón *Salir*, a la derecha de la pantalla, y la ventana de *calibración* desaparecerá dejando a la vista el área de trabajo para realizar el ensayo. Los datos de la *calibración* quedarán almacenados en la ruta: “C:\Archivos de Programa\ViSoftware\Control\Calibracion”.

Selección de archivo.

Para comenzar el ensayo lo primero que se hará será seleccionar el archivo donde se quieran guardar las imágenes adquiridas y en consecuencia el documento generado al finalizar el ensayo. Para ello se seleccionará, en la parte superior del área de trabajo, la opción *Archivo* → *Guardar como*. Se abrirá una ventana donde se podrá seleccionar la ubicación y el nombre del archivo. Se deberá crear **un archivo por célula a inspeccionar**.

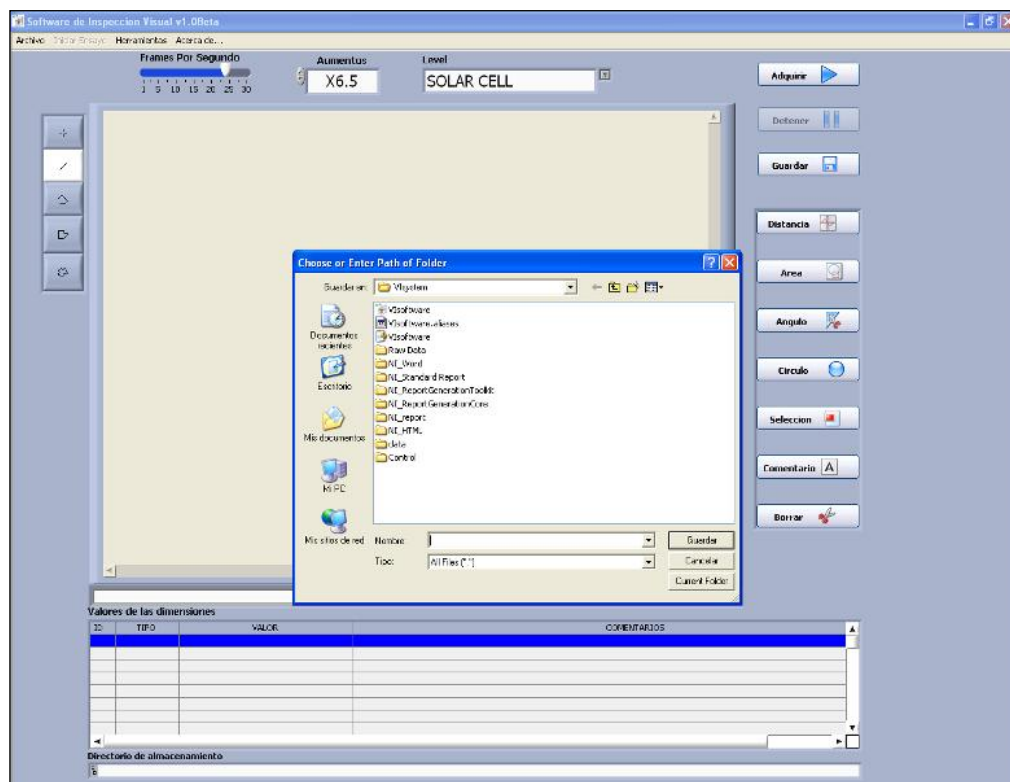


Figura 50: Guardar archivo.

Parámetros de ensayo.

Después de seleccionar el archivo donde se van a almacenar los datos, se activa en la ventana principal la opción de *Iniciar Ensayo*, parte superior de la pantalla. Aparecerá una nueva ventana en la cual se deben introducir los datos generales del ensayo y los requerimientos de la *inspección visual*. Esta información se quedará almacenada y se mostrará al finalizar el ensayo en el documento generado, por ello es necesario rellenar estos datos cada vez que se inspeccione una nueva célula. Una vez se hayan completado los distintos campos, se presionará *Guardar*. (Figura 51).

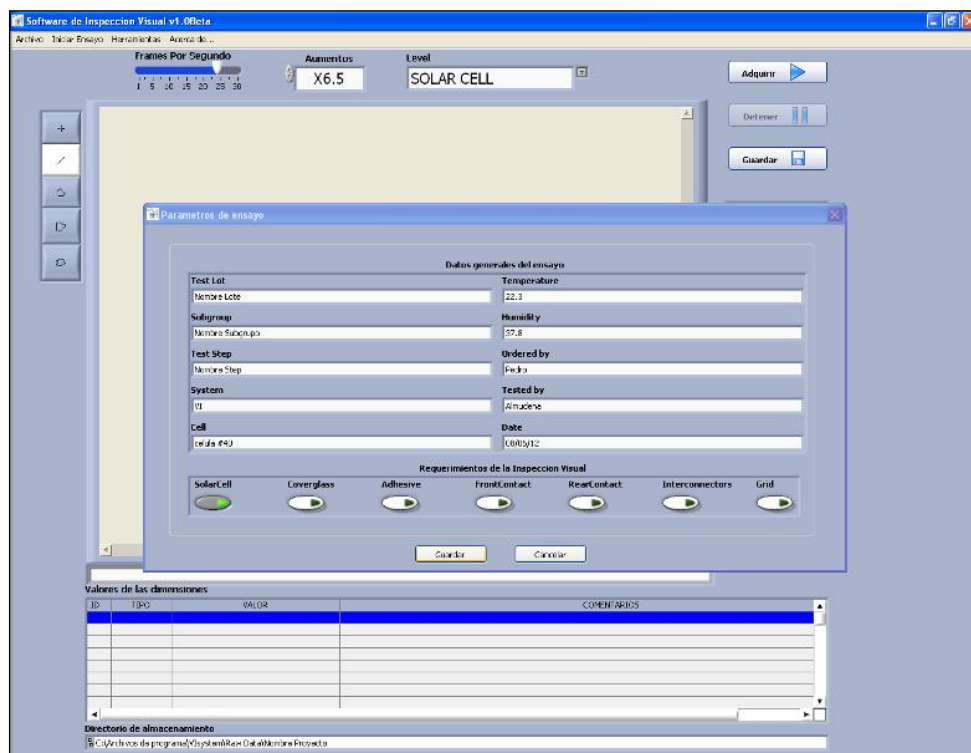


Figura 51: Pantalla iniciar ensayo.

Cuando se hayan completado los datos generales del ensayo se podrán seleccionar distintos parámetros para la realización del mismo.

En esta pantalla, al igual que en la de *calibración*, se podrá seleccionar los *frames* por segundo para que la imagen se mueva lo menos posible (por defecto 25), el número de aumentos en los que se está realizando el ensayo, y el nivel de la célula donde se encuentra el *defecto*.

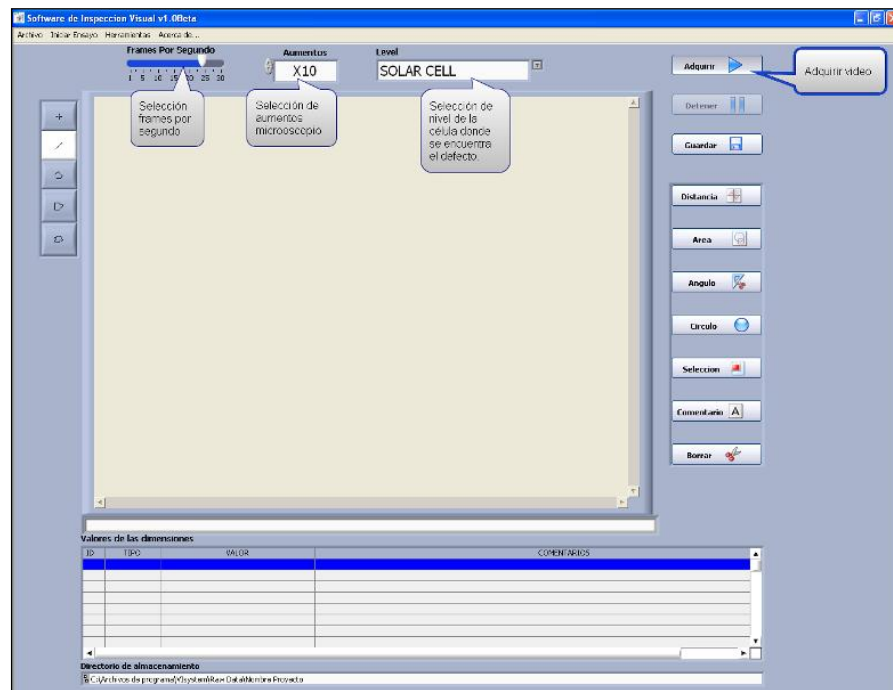


Figura 52: Pantalla iniciar ensayo.

Inicio del ensayo.

Para iniciar el ensayo, se debe colocar la célula a inspeccionar bajo el microscopio. Se presiona *Adquirir*, y la imagen que aparece en la pantalla será la imagen que se está visualizando a través del microscopio.

Se comenzará con la *inspección visual* de la célula. Cuando algún *defecto* sea detectado, se deberá detener la imagen, presionando sobre el botón *Detener*. Dependiendo de lo que se desee, se podrá guardar simplemente la foto, seleccionando

Guardar, o marcar y dimensionar los *defectos*. Para esto último existen distintas opciones dependiendo del tipo del *defecto*.

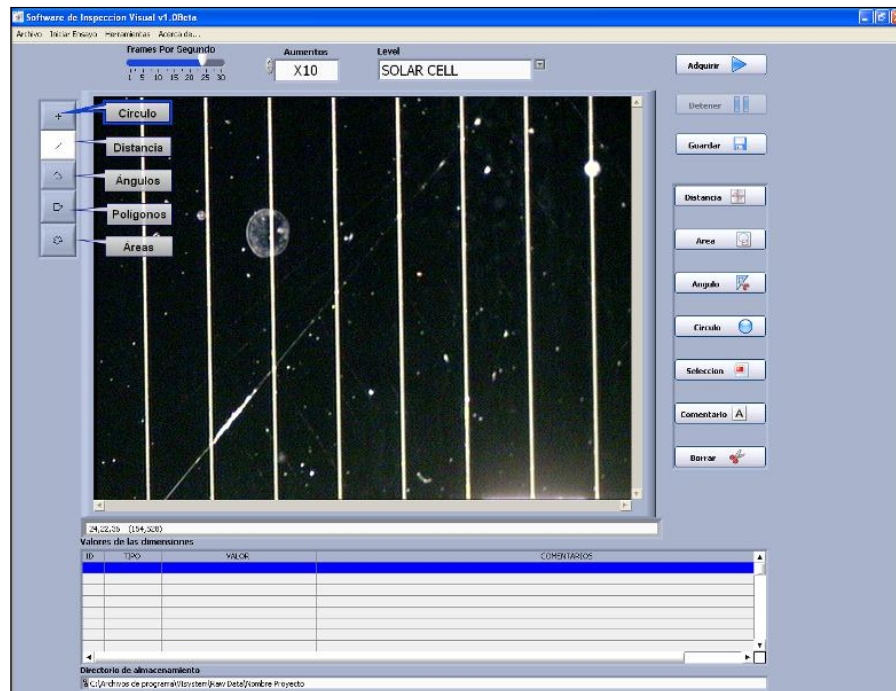


Figura 53: Utilidades símbolos.

Medir distancia.

Cuando se quiera medir distancias, se deberá seleccionar la herramienta línea en la parte izquierda de la pantalla, y trazar una línea seleccionando la distancia a medir.



Figura 54: Utilidad distancia.

Una vez seleccionada la distancia a medir presionar el botón de *Distancia*, parte derecha de la pantalla.



Figura 55: Botón distancia

Al presionar aparecerá una ventana donde se podrá incluir un comentario acerca del *defecto*, para hacer desaparecer esta ventana presionar *Aceptar*.

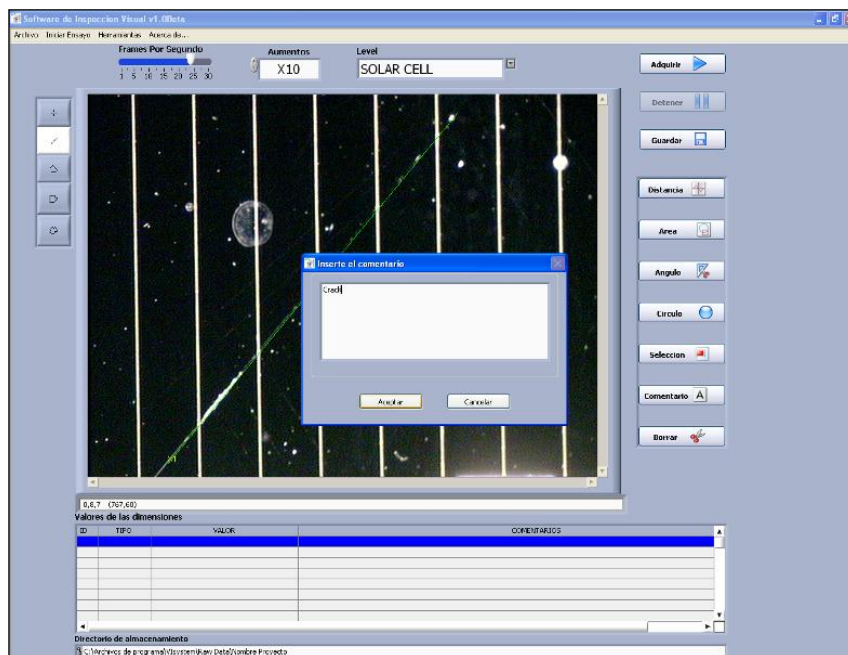


Figura 56: Introducir comentario.

En la parte inferior de la pantalla se podrán ir viendo los *defectos* que se hayan caracterizado según el orden en que se vaya realizando el proceso. El programa nombra a los *defectos* desde x1 a Xn (ID), e indica que acción se ha realizado sobre él (TIPO), el resultado de dicha acción (VALOR) y si se incluye algún tipo de comentario también aparecerá en esta pantalla (COMENTARIOS) .

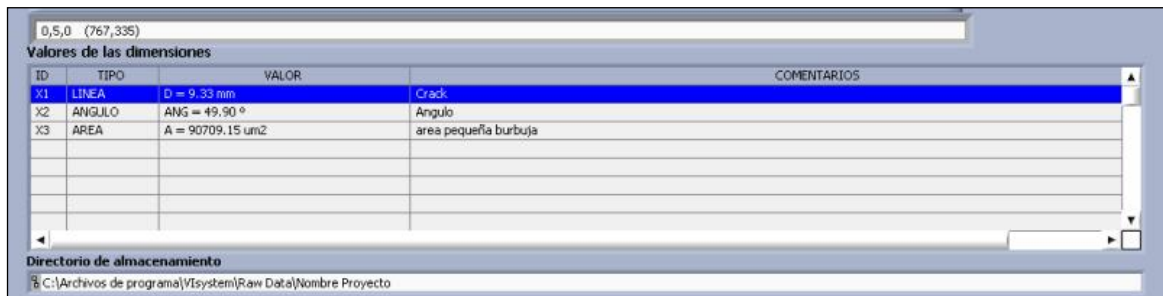


Figura 57: Acciones realizadas.

Si no se desea realizar ninguna acción más se presionará *Guardar* a la derecha de la pantalla y la imagen será almacenada con todos los *defectos* que se hayan indicado hasta el momento. A partir de ahora se podrá adquirir una nueva imagen.

Medir ángulo.

Cuando se quiera medir ángulos, se deberá seleccionar la herramienta de ángulos en la parte izquierda de la pantalla, e indicar mediante tres puntos sobre la imagen que ángulo es el que se quiere medir.



Figura 58: Utilidad ángulos.

Una vez marcado el ángulo a medir presionar el botón de *Angulo*, parte derecha de la pantalla .



Figura 59: Botón ángulo.

Como en el caso anterior el programa mostrará una pestaña donde se podrán incluir comentarios. Presionar *Aceptar* y la información sobre el *defecto* en cuestión aparecerá en la parte inferior de la pantalla. Si no se desea realizar ninguna acción más se presionará *Guardar*, a la derecha de la pantalla y la imagen será almacenada con todos los *defectos* que se hayan indicado hasta el momento. A partir de ahora se podrá adquirir una nueva imagen.

Medir áreas de polígonos.

Cuando se quiera medir el área de un *defecto* en forma de polígono, se deberá seleccionar la herramienta polígono en la parte izquierda de la pantalla, y dibujar el polígono en cuestión.

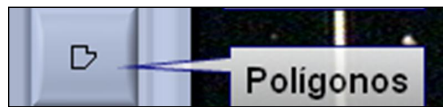


Figura 60: Utilidad polígonos.

Una vez dibujado el polígono que se quiere medir presionar el botón de *Area*, parte derecha de la pantalla (figura 25).



Figura 61: Botón área.

Como en los casos anteriores el programa mostrará una pestaña donde se podrán incluir comentarios. Presionar *Aceptar* y la información sobre el *defecto* en cuestión aparecerá en la parte inferior de la pantalla. Si no se desea realizar ninguna acción más se oprimirá *Guardar*, a la derecha de la pantalla y la imagen será almacenada con todos

los *defectos* que se hayan indicado hasta el momento. A partir de ahora se podrá adquirir una nueva imagen.

Medir áreas irregulares.

Cuando lo que se quiera medir sea el área de un *defecto* sin forma definida, se deberá seleccionar la utilidad de área en la parte izquierda de la pantalla, y dibujar a mano alzada la forma de la cual se quiere conocer el área.



Figura 62: Utilidad áreas.

Una vez dibujada presionar el botón de *Area*, parte derecha de la pantalla.



Figura 63: Botón área.

Como en los casos anteriores el programa mostrará una pestaña donde se podrán incluir comentarios. Presionar *Aceptar* y la información sobre el *defecto* en cuestión aparecerá en la parte inferior de la pantalla. Si no se desea realizar ninguna acción más se presionará *Guardar*, a la derecha de la pantalla y la imagen será almacenada con todos los *defectos* que se hayan indicado hasta el momento. A partir de ahora se podrá adquirir una nueva imagen.

Medir círculo.

Cuando el *defecto* a medir se pueda aproximar a un círculo, se podrá utilizar esta herramienta. Seleccionar la utilidad de círculo, a la izquierda de la pantalla.



Figura 64: Utilidad círculo.

Presionar el botón de *Círculo* a la derecha de la pantalla. Aparecerá en la pantalla un aviso indicando que se debe seleccionar tres puntos pertenecientes a la circunferencia del círculo a medir.



Figura 65: Botón círculo.

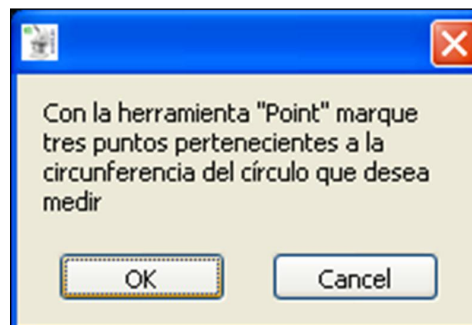


Figura 66: Aviso círculo.

Una vez marcados tres puntos el programa dibujará una circunferencia alrededor del *defecto*. Como en los casos anteriores el programa mostrará una pestaña donde se podrán incluir comentarios. Presionar *Aceptar* y la información sobre el *defecto* en

cuestión aparecerá en la parte inferior de la pantalla. Si no se desea realizar ninguna acción más se presionará *Guardar*, a la derecha de la pantalla y la imagen será almacenada con todos los *defectos* que se hayan indicado hasta el momento. A partir de ahora se podrá adquirir una nueva imagen.

Seleccionar un defecto.

Si lo que se desea es remarcar un *defecto* en concreto se utilizará la herramienta de Selección. Para ello seleccionar la utilidad de área en la parte izquierda de la pantalla, y se marcará el *defecto* que se quiera resaltar. Una vez hecho esto se presionará el botón de Selección, en la parte derecha de la pantalla.



Figura 67: Botón selección.

Aparecerá un recuadro rojo enmarcando el *defecto* que se haya indicado. Como en los casos anteriores el programa mostrará una pestaña donde se podrán incluir comentarios. Presionar *Aceptar* y la información sobre el *defecto* en cuestión aparecerá en la parte inferior de la pantalla. Si no se desea realizar ninguna acción más se presionará *Guardar*, a la derecha de la pantalla y la imagen será almacenada con todos los *defectos* que se hayan indicado hasta el momento. A partir de ahora se podrá adquirir una nueva imagen.

Incluir comentario.

Además de dimensionar *defectos* y poder remarcarlos se puede introducir comentarios acerca de la imagen que se esté analizando en ese momento. Para ello tan solo habrá que oprimir el botón de *Comentario*, parte derecha de la pantalla, y como en

los casos anteriores el programa mostrará una pestaña donde se podrán incluir comentarios.

Estos serán útiles para indicar en que zona de la célula se está trabajando. (Arriba a la izquierda, parte central, abajo a la derecha, *pad...*). Presionar *Aceptar* y la información del comentario aparecerá en la parte inferior de la pantalla. Si no se desea realizar ninguna acción más se presionará *Guardar* a la derecha de la pantalla y la imagen será almacenada con todos los *defectos* que se hayan indicado hasta el momento. A partir de ahora se podrá adquirir una nueva imagen.



Figura 68: Botón comentario.

Borrar.

Si al realizar alguno de los pasos se desea borrar, se utilizará el botón de *Borrar*, parte derecha de la pantalla, y desaparecerá la última modificación que se haya realizado sobre la imagen inicial.



Figura 69: Botón borrar.

Si no se desea realizar ninguna acción más se presionará *Guardar*, a la derecha de la pantalla, y la imagen será almacenada con los *defectos* que hayan quedado indicados hasta el momento. A partir de ahora se podrá adquirir una nueva imagen.



Figura 70: Botón Guardar.

Opciones.

Se podrá seleccionar los colores de las líneas que se dibujan en la imagen. Para ello seleccionar *Herramientas* → *Opciones*, en la parte superior de la pantalla.



Figura 71: Opciones.

Se abrirá una ventana, donde se podrá seleccionar el color de las líneas. Una vez finalizado presionar *Aceptar*.

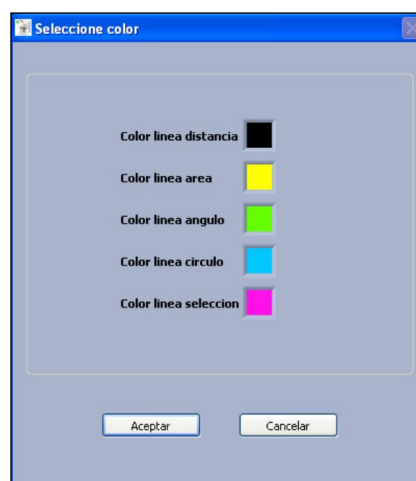


Figura 72: Selección color.

Generar documento.

Una vez finalizada la inspección de una célula habrá que generar el documento de ensayo, en el cual aparecerán las fotos guardadas durante la inspección, junto con las acciones realizadas sobre ellas, la información añadida en la pantalla de iniciar ensayo, los aumentos y el nivel de la célula en los que se haya indicado que se ha adquirido la imagen. Este documento se almacenará en la misma ubicación que la seleccionada al comienzo del ensayo.

Para generar el documento se debe presionar la opción de *Herramientas* → *Generar Documento*, en la parte superior de la pantalla. En el momento en el que se haya seleccionado esta opción se abrirá el documento generado, un archivo Word, el cual se podrá modificar posteriormente si se desea incluir algún dato más.

Salir de la aplicación

Para salir de la aplicación se debe seleccionar *Archivo* → *Salir*, en la parte superior de la pantalla.

IX. Bibliografía.

- [ECSS] ECSS-E-ST-20-08C Rev.1 Space engineering Photovoltaic assemblies and components.
- [CIEMAT] Fundamentos, dimensionado, y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. Ciemat.
- [RINTA] Revista Inta Octubre 2012.
- [SPA-PRO] SPA-PRO-7251-032-INTA. Procedimiento del ensayo de Inspección Visual.
- [ZEOPMA] Stemi1000/2000/2000-C Stereomicroscopes Operating manual.
- [3CCD] 3CCD Color Video Camera DXC-930DCX-930P Operating Instructions.
- [MA_CMAD2] Camera Adaptor CMA-D2/D2CE Sevice Manual.
- [CAT_VISIONDELTA] Catalogo mvDelta/mvDeltae.
-

[WEBNI]	www.ni.com
[PFCADQ]	Adquisición y procesado de imagines para el control de calidad de piezas de mecanizado. Jaume Tort Guzman. Universidad politécnica de Cataluña.
[INTLAB]	Introduction to <i>LabVIEW</i> 2001.
[LABEVERY]	<i>LabVIEW</i> for everyone. National Instruments.